



**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

**Offenlegungsschrift  
DE 196 34 155 A 1**

**(51) Int. Cl.<sup>6</sup>:  
H 04 R 29/00**

**(21) Aktenzeichen:** 196 34 155.8  
**(22) Anmeldetag:** 23. 8. 96  
**(43) Offenlegungstag:** 27. 2. 97

**DE 196 34 155 A 1**

**(30) Unionspriorität:** **(32) (33) (31)**  
25.08.95 FR 95 10111

**(71) Anmelder:**  
France Télécom, Paris, FR

**(74) Vertreter:**  
Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser,  
Anwaltssozietät, 80538 München

**(72) Erfinder:**  
Jot, Jean Marc, Paris, FR; Jullien, Jean-Pascal, Paris,  
FR; Warusfel, Olivier, Paris, FR

**(54) Verfahren zur Simulation der akustischen Qualität eines Raumes und damit verbundener Audio-Digitaler Prozessor**

**(57)** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Simulation der akustischen Eigenschaften, die von einer virtuellen Schallquelle erzeugt werden, und der Lokalisierung dieser Quelle bezüglich eines oder mehrerer Hörer und einen dazugehörenden, virtuellen Akustikprozessor. Das umfaßt folgende Schritte: Bestimmen von Wahrnehmungsfaktorenwerten mit Hilfe einer Regelungsschnittstelle, die die zu simulierenden Eigenschaften definieren, und von Parameterwerten, die die Lokalisierung einer virtuellen Quelle definieren, Umwandeln dieser Werte in eine Impulsantwort, die durch ihre Energieverteilung als Funktion der Zeit und der Frequenz beschrieben wird, Durchführen einer Kontextkompensation, wobei ein existierender Raumeffekt berücksichtigt wird, Erzeugung eines künstlichen Halls ausgehend von den Elementarsignalen, die von dem Eingangssignal erhalten werden, um in Echtzeit eine virtuelle Akustik zu erzeugen, die in dem ersten Schritt definiert wurde, und Kontrollieren der Lokalisierung der virtuellen Quelle. Dieses Verfahren erlaubt, Schallsignale zu modifizieren, die von einer realen Quelle kommen, oder Schalleffekte für Aufnahmeträger zu erzeugen. Der damit verbundene virtuelle Akustikprozessor erlaubt eine Ausstattung von allen Arten von Aufführungsräumen oder von Spielräumen.

**DE 196 34 155 A 1**

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Simulation der akustischen Eigenschaften eines Raumes. Diese Verfahren ermöglicht, die Lokalisierung einer Schallquelle zu kontrollieren oder zu reproduzieren, und die Transformation der von dieser Quelle ausgestrahlten Töne, die aus ihrer Projektion in einen reellen oder virtuellen Raum resultieren.

Mit diesem Verfahren ist ein Audio-Digitaler Prozessor verbunden, der ausgehend von einer Mehrzahl von Eingangssignalen ermöglicht, in Echtzeit einen Raumeffekt, die Lokalisierung der Schallquelle und die Wiedergabe der Signale über Kopfhörer oder verschiedene Lautsprechervorrichtungen zu kontrollieren und zu erzeugen. Mehrere Prozessoren können parallel geschaltet werden, um gleichzeitig mehrere verschiedene Schallquellen mit derselben Kopfhörer- oder Lautsprecheranordnung wiederzugeben.

Dank dieses Verfahrens und des damit verbundenen Prozessors ist es möglich, die von einer realen Schallquelle, einer Aufzeichnung oder einem Synthesator ausgehenden Signale zu modifizieren. Außerdem können das Verfahren und der Prozessor insbesondere bei der Schallaufzeichnung von Konzerten oder Schauspielen, bei der Herstellung von Aufzeichnungen für die Kino- oder Musikindustrie oder auch bei der Verwirklichung von interaktiven Simulationssystemen, wie etwa bei Flugsimulatoren oder bei Videospielen, angewendet werden. Das Verfahren nach der vorliegenden Erfindung erlaubt insbesondere, die Akustik eines Hörraums zu modifizieren, indem es exakt die Akustik eines anderen Raumes schafft, um den Hörern den Eindruck zu geben, daß zum Beispiel ein Konzert in diesem anderen Raum stattfindet.

Veröffentlichungen aus jüngster Zeit zeigen ein gewisses Interesse an einer Möglichkeit der Beschreibung der akustischen Qualität im Rahmen von Wahrnehmungsfaktoren. Dies ist in einer Veröffentlichung mit dem Titel "Some New Considerations on the Subjective Impression of Reverberance and its Correlation With Objective Criteria", ASA Konferenz, Cambridge, Mai 1994, und in der Veröffentlichung mit dem Titel "Some Results on the Objective Characterisation of Room Acoustical Quality in both Laboratory and Real Environments", Proc. I.O.A., Band 14, Teil 2, Seiten 77—84, 1992, beschrieben.

Die Veröffentlichung mit dem Titel "The Simulation of Moving Sound Sources", erschienen in dem Journal of Audio Engineering Society, Seiten 2 bis 6, 1971, beschreibt ein Programm, das erlaubt, die Lokalisierung und die Bewegung einer Schallquelle in einem virtuellen akustischen Raum zu kontrollieren. In dem Fall einer gleichzeitigen Wiedergabe mehrerer virtueller Schallquellen, mit 1 bis N numeriert, mit Hilfe einer Vorrichtung aus die Hörer umgebenden vier Lautsprechern, wird dieses Programm durch den in Fig. 11a dargestellten Prozessor ausgeführt. Die Herkunftsrichtung jeder Signalquelle wird mittels eines Panoramapotiometers, "Pan" bezeichnet, synthetisiert, was ermöglicht, die Signalquelle mittels eines Busses 1 mit Mehrkanalausgang und von Verstärkern 2 auf einen oder auf mehrere der vier Lautsprecher zu verteilen. Außerdem versorgen alle Signale, die von den Quellen 1 bis N herkommen, einen künstlichen Hallreflektor, mit "Rev" bezeichnet, der für jeden der Lautsprecher ein Schallsignal ein unterschiedliches Schallsignal liefert. Verstärkungen  $d_1$  bis  $d_N$  ermöglichen, die Amplitude des direkten Schalls jeder Schallquelle zu kontrollieren. Verstärkungen  $r_1$  bis  $r_N$  ermöglichen, die Amplitude des Hallschalls jeder Schallquelle zu kontrollieren.

Dieses Programm besitzt jedoch einige Nachteile. Da es nicht erlaubt, die Amplituden und Richtungen der primären Reflexionen unabhängig von den Nachhall zu modifizieren, erlaubt es nämlich nicht, die Entfernung oder die Drehung einer Schallquelle in ihrer natürlichen akustischen Umgebung getreu wiederzugeben. Da die primären Reflexionen von allen Lautsprechern ausgestrahlt werden, ist es weiterhin notwendig, daß der Hörer oder die Hörer sich in der Nähe der Mitte der Vorrichtung befinden, damit die Herkunftsrichtung, die durch den direkten Schall bestimmt wird, getreu wiedergegeben wird. Wenn sich ein Hörer zu dicht bei einem der Lautsprecher befindet, können die primären Reflexionssignale von diesem Lautsprecher ihn vor dem direkten Schall erreichen und diese dann ihn wahrnehmbarer Weise ersetzen. Des weiteren stellt ein Prozessor, wie er in Fig. 11a dargestellt ist, ein heterogenes System dar, in dem die Lokalisierung der Schallquellen und der Halleffekt mittels unterschiedlicher Vorrichtungen wiedergegeben werden, um gleichzeitig die Richtungs- und Zeitaspekte der Schallquelle zu behandeln. Nun ist die Verwendung unterschiedlicher Vorrichtungen komplex und teuer und führt zu einer für den Benutzer umständlichen Benutzerschnittstelle.

Die Veröffentlichung mit dem Titel "A general Model for spatial processing of sounds", erschienen in Computer Music Journal, Band 7, Nr. 6, 1983, beschreibt eine Erweiterung des oben beschriebenen Programms. Diese Erweiterung erlaubt für jede virtuelle Schallquelle und für jeden Lautsprecher des Wiedergabesystems die Daten und die Amplituden der primären, künstlichen Reflexionen zu kontrollieren. Dadurch berücksichtigt sie die Geometrie der Lautsprecher, die Geometrie des virtuellen Raumes, die akustischen Absorptionseigenschaften der Luft und der Wände des virtuellen Raumes und schließlich die Position, die Richtwirkung und die Ausrichtung jeder virtuellen Schallquelle.

Der Nachteil dieses Verfahrens liegt in der Tatsache, daß er keine direkte und wirkungsvolle Kontrolle des von dem Hörer bei der Wiedergabe der Akustik verspürten Gefühls erlaubt. Dieses Gefühl kann in zwei Typen von Effekten unterteilt werden: die Lokalisierung der virtuellen Schallquelle hinsichtlich ihrer Richtung und ihres Abstands und die akustischen Eigenschaften, die als die Summe der zeitlichen, Frequenz- und Richtungseffekte definiert sind, die von dem virtuellen Raum auf die von den virtuellen Schallquellen ausgestrahlten Schallsignale ausgeübt werden.

Wenn auch das Lokalisierungsgefühl durch dieses Verfahren kontrolliert werden kann, können hingegen die akustischen Eigenschaften nicht mittels der geometrischen und physikalischen Beschreibung des virtuellen Raums und der Schallquellen kontrolliert werden. Diese Lösung weist eine Reihe von Problemen in einem musikalischen und künstlerischen Zusammenhang auf. In der Tat ist die notwendige Kontrolle zur Aktualisierung der Daten und Amplituden der primären Reflexionen für jede Schallquelle und jeden Lautsprecher komplex und kostspielig im Hinblick auf die erforderlichen Rechenmittel. Weiterhin sind die Steuerungsparame-

ter eines Prozessors zur Ausführung dieses Verfahren nicht für die Wahrnehmungsebene geeignet. Damit ein Steuerungsverfahren wirkungsvoll ist, muß es eine wechselseitige Beziehung zwischen den Parametern und dem wahrgenommenen Effekt anstreben. Die Parameter eines Prozessors zur Ausübung des oben beschriebenen Verfahrens entsprechen nicht dieser Bedingung, da mehrere Regelungskonfigurationen denselben wahrgenommenen Effekt hervorrufen können. Der wahrgenommene Effekt bei der Änderung eines physikalischen oder geometrischen Parameters ist nicht genau vorhersehbar und existiert manchmal gar nicht. Schließlich erlaubt dieses Kontrollverfahren für die akustischen Eigenschaften nur physikalisch darstellbare Situationen wiederzugeben. Selbst wenn der modellierte Raum imaginär ist, legen die physikalischen Gesetze den ausführbaren akustischen Eigenschaften strenge Randbedingungen auf. Zum Beispiel führt in einem Raum mit gegebenen Volumen eine Modifikation der Absorptionskoeffizienten der Wände zum Erhöhen der Nachhalldauer des Raumes gleichzeitig zu einer Erhöhung der Intensität des Raumeffekts.

Bei der Verwendung solcher Verfahren, wie sie oben beschrieben wurden, bei einem Konzert, resultieren die akustischen Eigenschaften der effektiv von einem Hörer wahrgenommenen Akustik aus der Verbindung von zwei in Reihe geschalteten Filterstufen. Diese beiden Filterstufen stellen von einem Bearbeitungsmodul 3 für Schallsignale durchgeführten Schalltransformationen, die die Lautsprecher versorgen, und von einem akustischen System 4, das Verstärker, Lautsprecher und den Hörraum umfaßt, erzeugte Schalltransformationen sicher, wie es Fig. 11b für ein System mit vier Lautsprechern zeigt. Die zweite Filterstufe hängt von dem Frequenzresponse der Lautsprecher und ihrer Kopplung mit dem Hörraum ab, die ihrerseits von der Richtwirkung, der Position und der Ausrichtung jedes der Lautsprecher abhängt.

Darüber hinaus zielen die bis heute vorgeschlagenen Techniken zum Kompensieren der Transformationen der von den Lautsprechern wiedergegebenen Signale auf eine Unterdrückung dieser Transformationen, indem in dem damit verbundenen akustischen Prozessor ein Korrektorfilter 5, auch inverses oder Ausgleichsfilter genannt, vor den Lautsprechern des akustischen Systems 4 eingesetzt wird, wie es in Fig. 11c dargestellt ist. Die Verwendung dieser Techniken in einem typischen Hörraum, das heißt in einem relativ halligen Raum, ist sehr teuer, was die Rechenleistung angeht. Außerdem kann durch diese Ausgleichstechniken der Effekt des Hörraums nur an einem Punkt oder an einer begrenzten Zahl von Wahrnehmungspunkten wirkungsvoll ausgeglichen werden. Dieser Ausgleich funktioniert also nicht in einem ausgedehnten Wahrnehmungsbereich, wie etwa in dem Auditorium eines Konzertsaals.

Andere Veröffentlichungen jüngerer Zeit beschreiben eine perspektivische Lösung für die Charakterisierung der akustischen Eigenschaften von Räumen. Jedoch beschreibt keine dieser Veröffentlichungen die Verwirklichung eines Verfahrens, das die Kontrolle der akustischen Eigenschaften eines Raumes mit Hilfe eines Schallsignalsbearbeitungsmoduls und einer Wiedergabevorrichtung über Lautsprecher ermöglicht.

Die französische Patentanmeldung FR-92 02528 beschreibt ein Verfahren und ein System zur künstlichen Verräumlichung Audio-Digitaler Signale, um einen Raumeffekt zu simulieren. Dazu werden Hallfilterstrukturen beschrieben, die die Wiedergaben des verzögerten Halls und von Vorechos ermöglichen. Jedoch sind in einem solchen System die Regelungsanordnungen für die akustischen Eigenschaften uneinheitlich, da sie verschiedene Lösungswege verwenden. So werden auf ein- und derselben Ebene Kontrollvorrichtungen für die Geometrie des Hörraums, für die Wahrnehmung des Schalls oder für die Signalverarbeitung verwendet. In diesem Fall besitzen die Hallfilter also keinen wahrnehmbaren Einfluß auf die Regelungen, da diese letzteren voneinander unabhängig bleiben, wobei mehrere von ihnen denselben Raumeffekt erzeugen können. Die Koexistenz von Parametern unterschiedlicher Natur ermöglicht nicht, den oben erwähnten Anforderungen an die Wahrnehmungsqualität zu genügen. Die akustischen Eigenschaften können also nicht direkt und wirkungsvoll kontrolliert werden.

Die vorliegende Erfindung erlaubt, alle oben beschriebenen Nachteile auszuräumen.

Ein erster Gegenstand der vorliegenden Erfindung betrifft ein Verfahren zur Simulation der akustischen Eigenschaften, die von einer virtuellen Schallquelle erzeugt werden, und der Lokalisierung dieser Quelle bezüglich eines oder mehrerer Hörer ausgehend von einem Eingangssignal, das von einer oder mehreren Ursprungsschallquellen erhalten wird, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren folgende Schritte umfaßt:

- 1 — Bestimmen von Wahrnehmungsfaktorwerten mit Hilfe einer Regelungsschnittstelle, die die zu simulierenden Eigenschaften definieren, und von Parameterwerten, die die Lokalisierung einer virtuellen Quelle definieren,
- 2 — Umwandeln dieser Werte in eine Impulsantwort, die durch ihre Energieverteilung als Funktion der Zeit und der Frequenz beschrieben wird,
- 3 — Durchführen einer Kontextkompensation, wobei ein existierender Raumeffekt berücksichtigt wird,
- 4 — Erzeugung eines künstlichen Halls ausgehend von den Elementarsignalen, die von dem Eingangssignal erhalten werden, um in Echtzeit eine virtuelle Akustik zu erzeugen, die in dem ersten Schritt definiert wurde, und
- 5 — Kontrollieren der Lokalisierung der virtuellen Quelle.

Dieses Verfahren ermöglicht, die akustischen Eigenschaften eines existierenden Raumes zu modifizieren, indem im Innern desselben die akustischen Eigenschaften eines virtuellen Raumes simuliert werden und gleichzeitig die zeitlichen Aspekte und die Richtungsaspekte dieser akustischen Eigenschaften wiedergegeben werden. Dank dieses Verfahrens betreffen die Regelungsanordnungen nur die Wahrnehmung des wiedergegebenen Effekts durch den Hörer ohne auf technische Parameter zurückzugreifen, die sich aus der Verarbeitung der Schallsignale, der Geometrie des virtuellen Raumes oder den physikalischen Eigenschaften seiner Wände ergeben.

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung betrifft einen virtuellen Akustikprozessor, der die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ermöglicht. Dieser Prozessor ist dadurch gekennzeichnet, daß er ein "Raum"-Modul, der die Erzeugung eines künstlichen Halls ermöglicht, und ein "Pan-" Modul umfaßt, der die Kontrolle der Lokalisierung und der Bewegung der Schallquelle und die Durchführung einer Formatumwandlung in einen

anderen Wiedergabemodus ermöglicht.

In einer Mischanwendung, in der mehrere virtuelle Schallquellen gleichzeitig behandelt und über ein- und dieselbe Lautsprechervorrichtung wiedergegeben werden, können mehrere virtuelle akustische Prozessoren parallel geschaltet werden, wie es in Fig. 11d gezeigt ist.

In der einfachsten Konfiguration des Prozessors, wenn der Prozessor also nur den "Raum-" Modul umfaßt, können die Ausgangssignale direkt über eine Lautsprechervorrichtung wiedergegeben werdend die mit dem Standardstereofomat 3/2 oder 3/4 kompatibel ist, wie es in den Fig. 11e beziehungsweise 11f gezeigt ist, das drei vordere Kanäle mit zwei oder vier "Umgebungs-" Kanälen verbindet, die eine Referenzhörposition E umgeben. In einer vollständigeren Konfiguration kann der Prozessor mit einem zweiten "Pan-"Modul ausgestattet sein, das geeignet ist, lineare Kombinationen seiner Eingangssignale auf solche Weise durchzuführen, daß die Kontrolle der Lokalisierung der virtuellen Quelle und gleichzeitig die Durchführung einer Umwandlung von dem vorstehenden Standardformat in einen anderen Wiedergabemodus ermöglicht wird. Die möglichen Wiedergabemodi sind zum Beispiel der binaurale Wiedergabemodus über Kopfhörer, der stereophone Modus, der transaurale Modus über zwei Lautsprecher oder ein Mehrkanalmodus.

Wenn der Wiedergabemodus binaural ist, rekonstruiert der Prozessor die akustischen Informationen, die von zwei Mikrofonen aufgenommen worden wären, die sich in den Hörkanälen eines in dem virtuellen Hörfeld befindlichen Hörers befunden hätten, so daß eine dreidimensionale Kontrolle der Lokalisierung der Quelle ermöglicht wird, obwohl eine Übertragung nur über zwei Kanäle erfolgt.

Der transaurale Modus erlaubt die Wiedergabe desselben dreidimensionalen Effekts über zwei Lautsprecher, während der Stereomodus eine Tonaufnahme mit einem Mikrofonpaar simuliert. Wenn die akustische Wiedergabe in einem Mehrkanalmodus erfolgt, versorgt der Prozessor mehrere Lautsprecher, die den Hörbereich in einer horizontalen Ebene umgeben. Dieser Modus erlaubt das Errichten einer Schallszene, die nur wenig von der Position des Hörers abhängt, und die Wiedergabe eines diffusen Raumeffekts, der aus allen Richtungen kommt.

Somit kann der Prozessor nach der vorliegenden Erfindung so aufgebaut sein, daß er über verschiedene Lautsprechervorrichtungen oder bei verschiedenen Aufnahmeformaten die akustischen Eigenschaften, die von einer virtuellen Schallquelle erzeugt werden, und gleichzeitig die scheinbare Richtung der Position dieser Schallquelle bezüglich des Hörers kontrollieren und wiedergeben kann. Das in Fig. 11d dargestellte System stellt daher ein Mischpult dar, das nicht nur die Kontrolle der Richtung der Position jeder der N virtuellen Quellen ermöglicht sondern auch im Gegensatz zu einem herkömmlichen Mischpult, wie es in Fig. 11a dargestellt ist, die direkte Kontrolle der mit jeder der Quellen verbundenen akustischen Eigenschaften ermöglicht.

Wie weiter unten ausgeführt wird, umfassen die akustischen Eigenschaften, die von einer Schallquelle erzeugt werden, insbesondere die Wahrnehmung der Nähe oder der Ferne dieser Quelle.

In dem System, wie es in Fig. 11a dargestellt ist, ermöglicht ein traditionelles Mischpult die Kontrolle der Richtungseffekte, während ein externer Hallprozessor die Synthese der zeitlichen Effekte durchführt. Die Wahrnehmung der Entfernung der virtuellen Schallquellen kann nur mittels der Verstärkungswerte  $d_i$  und  $r_i$ , die in dem Mischpult zugänglich sind, nicht mit Präzision kontrolliert werden, da die Entfernungswahrnehmung auch von der Einregelung des externen Hallprozessors abhängt. Folglich schränkt die Heterogenität des Systems die Möglichkeiten einer kontinuierlich Änderung des scheinbaren Abstands der virtuellen Schallquellen sehr stark ein.

Im Gegensatz dazu bietet ein Mischpult, in dem jeder Kanal mit einem Prozessor nach der vorliegenden Erfindung ausgestattet ist, seinem Benutzer ein mächtiges Werkzeug zum Aufbau virtueller Schallfelder, da jeder Prozessor gleichzeitig die Richtungseffekte und die Zeit- und Frequenzeffekte integriert, die die Wahrnehmung der Lokalisierung und der akustischen Eigenschaften jeder Schallquelle bestimmen.

Weitere Besonderheiten und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden durch die Lektüre der nachfolgenden Beschreibung, die nur als nicht einschränkendes Beispiel dient, in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen deutlich.

Fig. 1 zeigt das Schema eines allgemeinen Aufbaus eines Prozessors nach der vorliegenden Erfindung.

Fig. 2 zeigt ein Schema, das den Einfluß einer Regelungsschnittstelle eines erfindungsgemäßen Prozessors auf die Schallbearbeitungsmodule darstellt.

Die Fig. 3a und 3b zeigen eine Standardantwort eines Raumes auf eine Schallimpulsanregung, wobei sie deren Beschreibung in der Form einer energetischen Verteilung als Funktion der Zeit beziehungsweise der Frequenz zeigen.

Fig. 4 zeigt ein Organigramm, das die Verfahrensschritte des erfindungsgemäßen Verfahrens zeigt.

Fig. 5 zeigt ein detailliertes Organigramm, das die Verfahrensschritte der Fig. 4 zeigt.

Fig. 6 zeigt ein Schema einer Energiebilanz, die nützlich ist zum Aufstellen von Beziehungen, die die Durchführung einer Kontextkompensation ermöglichen.

Fig. 7 zeigt ein elektronisches Schema eines "Quellen-" Moduls zur Schallbearbeitung.

Fig. 8 zeigt ein elektronisches Schema eines "Raum-" Moduls zur Schallbearbeitung, das die Erzeugung einer virtuellen Akustik ermöglicht.

Fig. 9 zeigt ein elektronisches Schema eines "Pan-" Moduls zur Schallbearbeitung.

Fig. 10 zeigt ein elektronisches Schema eines "Ausgangs-" Moduls zur Schallbearbeitung.

Die Fig. 11a bis 11c, die schon beschrieben wurden, zeigen klassische virtuelle Akustikprozessoren nach dem Stand der Technik.

Fig. 11d, die schon beschrieben wurde, zeigt ein Mischpult, das mehrere virtuelle Akustikprozessoren nach der vorliegenden Erfindung in Parallelschaltung umfaßt.

Fig. 11e zeigt das Schema einer Lautsprecheranordnung, die mit dem Stereo-3/2-Format kompatibel ist.

Fig. 11f zeigt das Schema einer Lautsprecheranordnung, die mit dem Stereo-3/4-Format kompatibel ist.

Für ein besseres Verständnis der verschiedenen Verfahrensschritte des erfindungsgemäßen Verfahrens, wird

zunächst der allgemeine Aufbau eines Prozessors beschrieben, der die Ausführung dieses Verfahrens ermöglicht. Ein Schema dieses allgemeinen Aufbaus ist in Fig. 1 gezeigt.

Entsprechend einer Ausführungsform umfaßt der erfindungsgemäße Prozessor zwei Stufen, eine hohe und eine tiefe. Die hohe oder obere Stufe ist für eine oder mehrere Schnittstellen 30, 40 reserviert, die ermöglichen, Werte von Wahrnehmungsfaktoren zu Regeln und diese Werte in eine Impulsantwort umzuwandeln, die durch ihre Energieverteilung als Funktion der Zeit und der Frequenz beschrieben wird. Die untere Stufe ist der Verarbeitung der Schallsignale ausgehend von Daten vorbehalten, die von der oder den Schnittstellen der oberen Stufe geliefert werden.

Die untere Stufe umfaßt also ein Modul 10 zur digitalen Bearbeitung von Schallsignalen, das selbst einen oder mehrere sukzessive Module zur Schallbearbeitung umfaßt. In dem Beispiel der Fig. 1 und in den folgenden Beispielen gibt es vier Module: ein "Quell"-Modul 11, ein "Raum"-Modul 12, ein "Pan"-Modul 13 und ein "Ausgangs"-Modul 14. Jeder dieser Module spielt eine wohldefinierte Rolle und arbeitet unabhängig von den anderen Modulen, um ausgehend von einem einzigen Eingangssignal E auf mehreren Ausgangskanälen die Wiedergabe von akustischen Eigenschaften zu ermöglichen und die Richtungslokalisierung der Quelle zu kontrollieren.

Der "Quell"-Modul 11 ist fakultativ. Er bringt insbesondere feste spektrale Korrekturen bei einem Eingangsschallsignal E, das von einer beliebigen Schallquelle herkommt. Diese spektralen Korrekturen erlauben, zwischen seiner direkten "Vorderseite", die von der Quelle zu einem Hörer hin abgestrahlt wird, und seiner diffusen Mitte "Omni", die von der Quelle in alle Richtungen abgestrahlt wird, zu differenzieren.

Der "Raum"-Modul 12 ist wichtig, da er die beiden von dem "Quell"-Modul kommenden Signaltypen bearbeitet und einen künstlichen Halleffekt bewirkt, um einen virtuellen Raumeffekt zu erzeugen.

Der "Pan"-Modul 13 ermöglicht gleichzeitig die Richtungslokalisierung der Schallquelle und die Durchführung einer Formatumwandlung in einen anderen Wiedergabemodus.

Der "Ausgangs"-Modul 14 ist fakultativ und ermöglicht eine feste spektrale und zeitliche Korrektur in jedem der Ausgangskanäle.

In dem in Fig. 1 gezeigten Beispiel ist der "Pan"-Modul eine Matrix mit 7 Eingängen, die den Ausgangssignalen des "Raum"-Moduls entsprechen, und mit 8 Ausgängen. Dies bedeutet, daß der Wiedergabemodus für 8 Kanäle ausgelegt ist, die 8 Lautsprecher versorgen. In einem anderen Fall, zum Beispiel bei einer Wiedergabe über 4 Kanäle, wäre die Anzahl der Ausgänge des "Pan"-Moduls gleich 4.

Die obere Stufe des Prozessors nach der vorliegenden Erfindung umfaßt vorzugsweise eine Softwareschnittstelle 30 und eine Regelungsschnittstelle 40. Die Regelungsschnittstelle 40 erlaubt, die zu simulierende Akustik als Funktion von Wahrnehmungsfaktoren zu definieren. Vorteilhafterweise umfaßt die Softwareschnittstelle 30 ein Programm, das mit der Regelungsschnittstelle 40 verbunden ist. Dieses Programm erlaubt, die Werte der Wahrnehmungsfaktoren, die mittels der Regelungsschnittstelle 40 festgelegt werden, in eine Impulsantwort umzuwandeln, die durch ihre energetische Verteilung als Funktion der Zeit und der Frequenz beschrieben wird. Die Wahrnehmungsfaktoren wirken unabhängig auf einen oder mehrere Energiewerte.

Eine Ausführungsvariante, die in Fig. 1 gezeigt ist, besteht darin, eine zweite Regelungsschnittstelle 20 in der unteren Stufe anzuordnen, um eine direkte Regelung der durch die Energie ausgedrückten Parameter, eine Kontrolle und eine Sichtbarmachung des oder der Bearbeitungsmodule zu ermöglichen. Die Regelungen der akustischen Eigenschaften mittels dieser zweiten Regelungsschnittstelle 20 erfolgen nicht in Abhängigkeit von Wahrnehmungsfaktoren sondern in Abhängigkeit von Energien. Weiterhin ist diese Schnittstelle 20 vollständig durchlässig für Kontrollbotschaften von der Regelungsschnittstelle 40 der oberen Stufe, sie erlaubt lediglich, eine direkte Kontrolle oder eine Sichtbarmachung der Werte der Parameter der oberen Stufe.

Weiterhin ist es ebenfalls möglich, eine zusätzliche Schnittstelle zur oberen Stufe hinzuzufügen, die geeignet ist, die Regelungsschnittstelle 40 durch eine Fernsteuerung 51 oder mittels eines automatischen Verfahrens 52 oder zum Beispiel durch eine gestische Kontrolle 53 zu kontrollieren und/oder zu steuern.

Der Einfluß der Regelungsschnittstelle 40 der oberen Stufe auf die einzelnen Bearbeitungsmodule 11, 12, 13 und 14 wird in Verbindung mit Fig. 2 besser verständlich.

Die Regelungsschnittstelle 40 ist vorzugsweise mit einem graphischen Kontrollbildschirm verbunden und umfaßt vorzugsweise vier Steuerungsbereiche, um eine Kontrolle der globalen akustischen Eigenschaften 42, der Lokalisierung 42 einer virtuellen Quelle, der Ausstrahlung 44 dieser virtuellen Quelle und schließlich der Konfiguration 41 des mit den Formaten oder Vorrichtungen der Tonaufnahme und/oder -wiedergabe verbundenen Wiedergabemodus zu ermöglichen.

Der Steuerungsbereich 41, der die Kontrolle der Konfiguration des Wiedergabemodus ermöglicht, ist im allgemeinen vor der ersten Verwendung des Prozessors zum Bearbeiten von Schallsignalen vorkonfiguriert. Das heißt, er ist insbesondere für einen speziellen Wiedergabemodus, wie zum Beispiel einen binauralen Modus, einen stereophonen oder einen Mehrkanalmodus, voreingestellt. In dem Fall einer Mehrkanalwiedergabe zum Beispiel vereinigt der Konfigurationssteuerungsbereich 41 alle Parameter, die die Positionen der Lautsprecher bezüglich einer Referenzhörposition beschreiben, und gibt sie an den "Pan"-Modul 13 weiter. Diese Beschreibung ist mit spektralen und zeitlichen Korrekturen mittels Ausgleichsfilter 45, 46 verbunden, die auf jeden Ausgangskanal des "Ausgangs"-Moduls 14 beziehungsweise jedem Eingangskanal des "Quell"-Moduls 11 angewandt werden. Dieser Konfigurationssteuerungsbereich 41 beeinflusst also den "Pan"-Modul 13, den "Ausgangs"-Modul 14 und den "Quell"-Modul 11 zur Signalbearbeitung der unteren Stufe.

Der Steuerungsbereich 42 für die Lokalisierung einer virtuellen Quelle umfaßt Azimut- und Aufrißwinkelwerte, die die Richtung der Quelle definieren und direkt zum "Pan"-Modul 13 zur Signalbearbeitung der unteren Stufe übertragen werden. Letzterer Modul kennt somit im Falle einer Wiedergabe in einem Mehrkanalmodus die Position der virtuellen Quelle bezüglich der Position der Lautsprecher, die durch den Konfigurationssteuerungsbereich 41 definiert wird. Dieser Steuerungsbereich 42 umfaßt außerdem den Wert eines in Metern

angegebenen Abstands zwischen der virtuellen Quelle und einem an einer Referenzhörposition befindlichen Hörer. Dieser Abstand ermöglicht es, gleichzeitig die Dauer einer Vorverzögerung in dem "Quell"-Modul der unteren Stufe zu kontrollieren, was eine natürliche Wiedergabe des Dopplereffekts ermöglicht, wenn sich der Abstand ändert. Bei der Umwandlung der Werte der Wahrnehmungsfaktoren in Energiewerte kann ein Benutzer des erfindungsgemäßen Prozessors außerdem auswählen, den Abstand mit einem Wahrnehmungsfaktor, der "Präsenz der Quelle" genannt wird, des Steuerungsbereichs für die akustischen Eigenschaften 43 zu verbinden. Dieser Wahrnehmungsfaktor erzeugt allein einen überzeugenden Entfernungseffekt durch die Dämpfung des direkten Schalls und seiner primären Reflexionen. Diese Funktionen, die in Fig. 1 dargestellt sind, erlauben also, virtuelle Schalltrajektorien in einem beliebigen Raum wiederzugeben.

In dieser Steuerungsschnittstelle sind die Kontrolle der Richtungslokalisierung der Schallquelle, die die Simulation einer Drehung der Quelle um den Hörer ermöglicht, und die Angabe der Anordnung der Lautsprecher fakultativ.

Der Steuerungsbereich 44 für die Ausstrahlung der Quelle ermöglicht, die Ausrichtung und die Richtwirkung der virtuellen Quelle zu regeln. Die Ausrichtung wird durch horizontale und vertikale Rotationswinkel definiert, die "Drehung" beziehungsweise "Neigung" genannt werden. Die Richtwirkung wird durch ein "Achsen"-Spektrum, das den entlang einer Achse der Quelle emittierten Schall darstellt, und durch ein "Omni"-Spektrum definiert, das den im Mittel in alle Richtungen von der Quelle abgestrahlten Schall darstellt. Diese Parameter beeinflussen direkt die globalen akustischen Eigenschaften, die vom Hörer wahrgenommen werden und müssen daher bewirken, daß die Anzeige der Wahrnehmungsfaktoren des Steuerungsbereichs 43 der akustischen Eigenschaften auf den neuesten Stand gebracht werden.

Schließlich erlaubt der Steuerungsbereich 43, der für die Kontrolle der akustischen Eigenschaften vorgesehen ist, in Abhängigkeit von Wahrnehmungsfaktoren die Transformation des von einer virtuellen Schallquelle ausgestrahlten Schallsignals für einen virtuellen Raum. Diese Steuerung umfaßt neun Wahrnehmungsfaktoren. Sechs dieser Faktoren hängen von der Position, der Richtwirkung und der Ausrichtung der Quelle ab: drei dieser Faktoren werden als Eigenschaften der Quelle wahrgenommen und sind die "Präsenz der Quelle", die "Brillanz" und die "Wärme", während die anderen drei als mit dem Raum verbunden wahrgenommen werden. Diese sind die "Präsenz des Raumes", die "Einhüllung" und der "Vorhall". Die drei letzten Wahrnehmungsfaktoren hängen nicht von dem Raum ab und beschreiben die Halldauer in Abhängigkeit von der Frequenz und sind der "Nachhall", die "Lebendigkeit" und die "Intimität".

Der Nachhall unterscheidet sich von den primären Reflexionen durch die Tatsache, daß er im wesentlichen bei Unterbrechungen der von der Quelle emittierten Schallnachrichten verspürt wird, während die primären Reflexionen im Gegensatz dazu auch während kontinuierlicher musikalischer Passagen wahrgenommen werden.

Die Wahrnehmungsfaktoren des Steuerungsbereichs 43 für die akustischen Eigenschaften, die in Wahrnehmungseinheiten auf einem Maßstab ausgedrückt werden, der die typische Empfindlichkeit von Hörern gegenüber Wahrnehmungsfaktoren berücksichtigt, sind auf bekannte Weise mit objektiven, meßbaren Kriterien verbunden. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Beziehungen, die zwischen den objektiven Kriterien und den Wahrnehmungsfaktoren, die die akustischen Eigenschaften definieren, bestehen.

Wahrnehmungsfaktor	Bezeichnung	Min	Max	Objektives Bezeichnungskriterium	Min	Max	Empfindlichkeit
-Quellenpräsenz	pres	0	120	Es	-40dB	0dB	4/dB
-Wärme	warm	0	60	Desl	-10dB	10dB	3/dB
-Brillanz	bril	0	60	Desh	-10dB	10dB	3/dB
-Raumpräsenz	prer	0	120	Rev	-40dB	0dB	3/dB
-Einhüllung	revp	0	50	Edt	abhängig		
-Vorhall	env	0	50	Rdl	abhängig		
-Nachhall	Rev	0	100	Rt	0,1s	10s	5/dB s
-Intimität	Heav	0	50	Rdrl	0,1	10	2,5/dB
oder Schwere				Drth	0,1	1	5/dB
-Lebendigkeit	live	0	50				

Vorzugsweise umfaßt die Softwareschnittstelle 30, die eine Umwandlung der Wahrnehmungsfaktoren in Energiefaktoren erlaubt, ein Operationsglied 31, das in der Lage ist, diese Umwandlung durchzuführen, und ein Operationsglied 32, das in der Lage ist, eine Kontextkompensation auf solche Weise durchzuführen, daß ein bestehender Raumeffekt berücksichtigt wird.

Ein allgemeines Prinzip eines Simulationsverfahrens der akustischen Eigenschaften nach der vorliegenden Erfindung geht von der Annahme aus, daß die Impulsantwort des zu simulierenden akustischen Kanals auf der Wahrnehmungsebene durch die Energieverteilung in Abhängigkeit von der Zeit und der Frequenz gekennzeichnet ist, wobei die Verteilung mit einer Aufteilung in eine bestimmte Anzahl von Zeitabschnitten und in eine



bestimmte Anzahl von Frequenzbändern verbunden ist. Dies ist in den Fig. 3a und 3b schematisch dargestellt. In der nachfolgenden Beschreibung ist die Anzahl der Zeitabschnitte gleich 4 und die der Frequenzbänder gleich 3. Die Zeitgrenzen sind zum Beispiel gleich 20, 40 und 100 ms (Millisekunden), was zu einer Charakterisierung durch 12 Energiewerte führt. Die drei Frequenzbänder sind zum Beispiel unterhalb von 250 Hz (Hertz) für das mit BF bezeichnete Niederfrequenzband, zwischen 250 Hz und 4000 Hz für das mit MF bezeichnete Mittenfrequenzband und über 4000 Hz für das mit HF bezeichnete Hochfrequenzband. Die diese Frequenzbänder definierenden Werte sind einstellbar, und ein Benutzer kann die Einstellung ändern, um in breiteren oder schmaleren Bändern zu arbeiten.

Das zu beschreibende Verfahren besteht darin, die Schallsignale entsprechend dem in Fig. 4 gezeigten Organigramm zu bearbeiten. Dieses Verfahren verlangt keine Annahme über den inneren Aufbau des Signalprozessors.

Ein erster Verfahrensschritt 100 eines solchen Verfahrens besteht darin, mit Hilfe der Regelungsschnittstelle 40 der oberen Stufe des Prozessors, die Werte der Wahrnehmungsfaktoren, die die zu simulierenden akustischen Eigenschaften 43 definieren, die Parameterwerte, die die Lokalisierung 42 der virtuellen Quelle definieren und die Parameterwerte, die die Ausstrahlung 44, also die Ausrichtung und die Richtwirkung eines von der virtuellen Quelle emittierten Schallsignals definieren, festzulegen.

Diese Werte werden anschließend in einem zweiten Verfahrensschritt 140 in auf Zeit und Frequenz aufgeteilte Energiewerte umgewandelt.

Ein dritter Verfahrensschritt 150 besteht darin, eine Kontextkompensation auf solche Weise durchzuführen, daß ein Raumeffekt, der in einem beliebigen Hörraum existiert, berücksichtigt wird. Dazu verändert ein Wahrnehmungsoperationsglied, das zum Beispiel von der Softwareschnittstelle 30 des Prozessors gesteuert wird, die in den beiden ersten Verfahrensschritten festgelegten Energiewerte, wobei der Kontext 180, das heißt die reale Akustik des Hörraums und die Positionen, Ausrichtungen und Richtwirkungen der Lautsprecher in demselben, berücksichtigt werden.

Der Verfahrensschritt 170 erlaubt einen unmittelbaren Zugriff auf die untere Stufe, indem er direkt die Energiewerte liefert, die die gewünschten akustischen "Ziel-" Eigenschaften definieren.

Schließlich wird in einem letzten Schritt 160 ein künstlicher Hall ausgehend von Elementarsignalen, die aus dem Eingangssignal E in den Prozessor erhalten werden, erzeugt. Dieser Hall wird durch das "Raum"-Modul 13 des erfindungsgemäßen Prozessors mittels Hallfilter erzeugt, die aus den in der französischen Patentanmeldung Nr. 92 02528 beschriebenen hergeleitet werden.

Vorzugsweise ist die Anzahl der Ausgangssignale des "Raum"-Moduls, das die Echtzeiterzeugung einer virtuellen Akustik ermöglicht, gleich sieben. Das Wiedergabezwichenformat ist daher kompatibel mit den Stereo-3/2- und Stereo-3/4-Formaten, die in den Fig. 11e und 11f dargestellt sind. Das den direkten Schall darstellende Signal wird auf einem zentralen Kanal C übertragen, die die Primärreflexionen darstellenden Signale werden auf den Seitenkanälen L und R übertragen und die die Sekundärreflexionen und den Nachhall darstellenden Signale werden auf den Kanälen S1, S2, S3 und S4 übertragen.

Außerdem werden in dem Verfahrensschritt 190 die den Aufbau des Wiedergabesystems definierenden Parameter direkt zum "Pan"-Modul 13 des erfindungsgemäßen Prozessors übertragen, um die Verteilung der Signale in einer Wiedergabevorrichtung zum Beispiel auf Lautsprecher zu organisieren.

Das Organigramm der Fig. 5 erlaubt ein besseres Verständnis der verschiedenen Verfahrensschritte eines solchen Verfahrens.

Die neun Wahrnehmungsfaktoren und der Abstand zwischen der virtuellen Quelle und einem Hörer, wenn dieser Abstand mit einem Faktor "Präsenz der Quelle" verbunden ist, werden in dem Verfahrensschritt 141 in Energiewerte der drei Frequenzbänder umgewandelt. Diese Energiewerte, die auch in Fig. 3a dargestellt sind, entsprechen dem direkten Schall OD, der von der virtuellen Quelle zum Hörer emittiert wird, den Primärreflexionen  $R_1$  und der Gesamtheit der Sekundärreflexionen  $R_2$  und des Nachhalls  $R_3$ .

Ausgehend von der Ausrichtung und der Richtwirkung der im Verfahrensschritt 100 definierten Quelle werden mit Hilfe des Ausstrahlungssteuerungsbereichs 44 im Verfahrensschritt 142 das "Vorderseiten"-Spektrum und das "Omni"-Spektrum berechnet. Das "Vorderseiten"-Spektrum berücksichtigt den direkten "Achsen"-Schalls und den Dreh- und Neigungswinkel und definiert das Spektrum des direkten, von der Quelle zum Hörer emittierten Schalls. Das "Omni"-Spektrum ist gleich dem "Omni"-Parameter des Ausstrahlungssteuerungsbereichs 44 und entspricht dem von der Quelle in alle Richtungen ausgestrahlten, diffusen Schall.

Die Energiewerte werden dann in Schritt 143 in den drei Frequenzbändern unter Berücksichtigung des "Vorderseiten"-Spektrum und des "Omni"-Spektrums berechnet. Dazu wird der den direkten Schall OD darstellende Energiewert mit dem "Vorderseiten"-Spektrum multipliziert, während die die primären Reflexionen  $R_1$ , die sekundären Reflexionen  $R_2$  und den Nachhall  $R_3$  darstellenden Energiewerte mit dem "Omni"-Spektrum multipliziert werden.

Diese drei Berechnungsschritte werden in einem Wahrnehmungsoperationsglied 140 ausgeführt, das sich zum Beispiel in der Softwareschnittstelle 30 des Prozessors befindet.

Die Umwandlung von objektiv meßbaren Kriterien in Energiewerte erfolgt mittels nachfolgend beschriebener Formeln.

Es wird angenommen, daß die mit OD,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  bezeichneten Energien und die Nachhallzeit  $R_t$  in den mittleren Frequenzen ausgedrückt werden. Im gegenteiligen Fall werden die Indizes "HF" und "BF" verwendet. Alle Energien werden in linearen Maßstäben ausgedrückt und die Dauer wird in Sekunden ausgedrückt. Die Zeitgrenzen sollen gleich 0,20 ms, 40 ms und 100 ms sein.

Die Formeln sind folgende:

$$R_3 = [-C + \sqrt{[C^2 + 0.5 \cdot \text{Rev}/E_s \cdot (1-C)^2]}] \cdot 4 \cdot E_s / (1-C)^2$$

- 5 falls  $\text{Rev}/E_s \leq 2 \cdot (1+C)/(1-C)$  mit  $C = 10^{(1.2/R_t)}$   
 $R_3 = \text{Rev} + 2 \cdot E_s^{\text{sonst}}$   
 $R_2 = -E_s + R_3 \cdot [10^{1.5 \cdot (1+(0.4-\text{Edt})/R_t)} - 1]$   
falls  $\text{Edt} > 0.4$   
 $R_2 = -E_s + R_3 \cdot [10^{(0.6/\text{Edt})} - 1]^{\text{sonst}}$   
10  $R_1 = (E_s \cdot R_{d1} - 0.05 \cdot R_2) / 0.3$  falls  $R_{d1}$  kontrolliert wird,  
 $R_1 = E_s - (E_s + 3 \cdot R_2 / (1 + 2 \cdot R_{d2}))$  falls  $R_{d2}$  kontrolliert wird.  
 $OD = E_s + R_1$ ,  
 $OD_{BF} = \text{Desl} \cdot OD$ ,  
 $OD_{HF} = \text{Desh} \cdot OD$ ,  
15  $R_{tBF} = \text{Drfl} \cdot R_t$ ,  
 $R_{tHF} = \text{Drth} \cdot R_t$ .

Für  $\text{Edt}$ ,  $R_{d1}$  und  $R_{d2}$  sind jedoch Randbedingungen erforderlich, um sicherzustellen, daß die Werte von  $R_2$ ,  $R_1$  und  $OD$  immer positiv sind. So ist der Maximalwert für  $R_{d1}$  zum Beispiel beschränkt, um zu vermeiden, daß  $OD$  null wird, da der direkte Schall die zeitliche Referenz bildet, auf der die Definition aller Kriterien beruht. Diese Randbedingungen sind die folgenden:

- $\text{Edt}_{\min} = 0.4 + R_t \cdot [1 - 0.667 \cdot \log_{10}(1 + 2 \cdot E_s/R_3)]$   
falls  $2 \cdot E_s/R_3 \leq 30.662$ ,  
25  $\text{Edt}_{\min} = 0.6 / \log_{10}(1 + 2 \cdot E_s/R_3)$  sonst,  
 $R_{d2\min} = 1.5 \cdot R_2/E_s$ ,  
 $R_{d2\max} = 0.5 + 3 \cdot R_2/E_s$ ,  
 $R_{d1\min} = 0.05 \cdot R_2/E_s$ ,  
 $R_{d1\max} = 0.3 + 0.05 \cdot R_2/E_s$ .

30 Wie zuvor beschrieben wurde, sind die Wahrnehmungsfaktoren mit objektiven Kriterien verbunden, auch wenn sie leicht in Energien umwandelbar sind.

Die Gesamtzahl der Energiewerte ist gleich fünfzehn, da es zwölf Werte gibt, die  $OD$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  in den drei Frequenzbändern entsprechen, und drei Werte gibt, die den Hallzeiten  $R_t$  in den drei Frequenzbändern entsprechen.

35 Am Ausgang des Wahrnehmungsoperators 140 werden die Energien zu einem weiteren Operator 150 geführt, der die Berechnung der Kontextkompensation ermöglicht, so daß die Werte von  $OD$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  in den verschiedenen Frequenzbändern modifiziert werden. Schließlich werden die in dem Operator berechneten Daten zum "Raum-" Modul 12 der Schallbearbeitung geführt, um eine Simulation des Raumeffekts durchzuführen.

40 Die Kontextkompensation besteht darin, die Energiewerte, die eine akustische Simulation ermöglichen, zu modifizieren, wobei drei Typen von Nachrichten berücksichtigt werden, die Daten enthalten, die geeignet sind, das Kompensationsverfahren zu aktivieren. Diese Nachrichten sind der "Kontext" 180, das "Ziel" 170 und das Maß "Live" 181.

Der "Kontext" wird aus den bestehenden akustischen Eigenschaften, die zum Zeitpunkt der Referenzanhörung, die von jedem Lautsprecher durchgeführt wird, in dem Hörraum, in dem man eine Akustik simulieren möchte, hergeleitet. Die "Ziel-" Eigenschaft beschreibt die akustischen Eigenschaften, die in diesem Hörraum wiederzugeben sind. Sie wird entweder aus den Werten der Wahrnehmungsfaktoren und den Lokalisierungsparametern, die während des ersten Verfahrensschrittes festgelegt werden, abgeleitet oder direkt an den Kontextkompensationsoperator 150 angelegt. Schließlich wird das Maß "Live" in dem Fall berücksichtigt, in dem das Eingangssignal  $E$  des virtuellen Akustikprozessors von einem Mikrophon erzeugt wird, das eine "Live-" Quelle aufnimmt, um die akustischen Eigenschaften zu beschreiben, die von dieser Quelle in dem Hörraum, der am Referenzhörpunkt ausgemessen wird, natürlich erzeugt werden.

Für einen auf diesem Referenzpunkt befindlichen Hörer werden dann die natürlichen akustischen Eigenschaften der "Live-" Quelle in dem Hörraum den künstlichen, von dem Prozessor simulierten akustischen Eigenschaften überlagert.

55 Der Empfang einer akustischen "Ziel-" Eigenschaft, das heißt einer zu simulierenden akustischen Eigenschaft, führt zu ihrer Anzeige auf dem graphischen Kontrollbildschirm, der mit der Regelungsschnittstelle 40 des Prozessors verbunden ist, und zur Berechnung einer Kontextkompensation durch den Operator 150, wobei die Maße "Kontext" und "Live" berücksichtigt werden.

60 Der Kompensationsvorgang geht automatisch in Echtzeit vonstatten und läuft auf eine Entfaltung der akustischen "Ziel-" Eigenschaft vermindert um das Maß "Live" von dem Maß "Kontext" hinaus, so daß die geeigneten Energiewerte berechnet werden, um die gewünschte akustische "Ziel-" Eigenschaft zu erhalten. Die akustischen "Ziel-" Eigenschaften werden durch die Regelungsschnittstelle 40 der oberen Stufe des Prozessors oder durch die "Ziel-" Steuerung 170 einer zweiten Regelungsschnittstelle, die in der unteren Stufe arbeitet und Daten in der Form von Energiewerten liefert, definiert.

65 Das Prinzip der Kontextkompensation beruht auf der Tatsache, daß die Ausgangssignale des virtuellen Akustikprozessors in  $N$  Komponenten unterteilt sind, die von  $N$  Gruppen von verschiedenen Lautsprechern wiedergegeben werden und mit  $N$  Zeitabschnitten des Raumeffekts verbunden sind. In der nachfolgenden



Beschreibung wird N gleich 3 Gruppen gesetzt: die "zentrale" Gruppe, die "seitliche" Gruppe und die "diffuse" Gruppe. Diese Gruppen werden definiert, um den direkten Schall (OD), die primären Reflexionen und die Gesamtheit der sekundären Reflexionen (R<sub>2</sub>) und des Nachhalls (R<sub>3</sub>) wiederzugeben. In dem Prozessor nach der vorliegenden Erfindung hängt die Zuordnung der einzelnen Lautsprecher zu jeder dieser drei Gruppen von der Geometrie der Lautsprecheranordnung, also von den Parametern des Konfigurationsmoduls 41, und von der Lokalisierungsrichtung der virtuellen Schallquelle ab. Diese Zuordnung erfolgt in zwei Schritten, wobei von dem Stereo-3/4-Zwischenformat am Ausgang des "Raum-" Moduls, wo diese drei Gruppen getrennt werden, ausgegangen wird: es gibt einen "zentralen" Kanal, zwei "seitliche" Kanäle und vier "diffuse" Kanäle.

Wenn man eine Hörsitzung mit sieben Lautsprecher ohne den "Pan-" Modul durchführt, wie in der Fig. 11f gezeigt, sind die drei Kontextmaße wie folgt definiert:

- das "zentrale Kontext-" Maß ist gleich der akustischen Eigenschaft, die von dem vorderen Lautsprecher, der mit "C" bezeichnet ist, bezogen auf die Referenzhörposition erzeugt wird,
- das "seitliche Kontext-" Maß ist gleich dem Mittel, das von den rechten und linken Lautsprechern, die mit "R" und "L" bezeichnet sind, erzeugt wird,
- das "diffuse Kontext-" Maß ist gleich dem Mittel, das von den seitlichen, hinteren Lautsprechern, die mit "S1", "S2", "S3" und "S4" bezeichnet sind, erzeugt wird, wobei "Maß" ein n-tuplet von Energien OD, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> genannt wird, die in drei Frequenzbändern gemessen werden, wenn einer der Lautsprecher eine Impulsanregung erhält. In dem Beispiel ist n gleich 3\*4 = 12 Energiewerte. Bei diesen Maßen nimmt man an, daß die spektralen und zeitlichen Korrekturen, die von dem "Ausgangs-" Modul durchgeführt werden, erfolgt sind. Diese Korrekturen umfassen die zeitlichen Verzögerungen und die spektralen Korrekturen, die notwendig sind, um sicherzustellen, daß an der Referenzhörposition der Moment der Ankunft sowie die Frequenzzusammensetzung des direkten Schalls für alle Lautsprecher dieselben sind. Diese Korrektur ermöglicht es, zu vermeiden, daß der Hörer bei Bewegungen der Schallquelle eine Intensitäts- oder Klangfarbenänderung wahrnehmen kann, die die Anwesenheit der Lautsprecher wahrnehmbar machen.

Wenn der "Pan-" Modul verwendet wird, bestimmt er, welchen Lautsprechern oder Lautsprechergruppen diese drei Bestandteile zugeordnet werden. Die "diffuse" Gruppe bleibt unabhängig von der Position der virtuellen Quelle definiert, aber die "zentrale" Gruppe und die "seitliche" Gruppe ändern sich in Abhängigkeit von der Regelung der Lokalisierungsrichtung der virtuellen Quelle auf solche Weise, daß sie eine Drehung der Quelle wiedergeben. Die Berechnung der drei Kontextmaße erfordert also die Kenntnis der Verstärkungsverstärkungen jedes Lautsprechers für jeden der Ausgangskanäle des "Raum-" Moduls, wobei diese Verstärkungen Koeffizienten sind, die in einer Matrix des "Pan-" Moduls definiert sind. Die Berechnung kann jedesmal, wenn diese Verstärkungen geändert werden, durch einen Rotationsbefehl für die virtuelle Schallquelle dynamisch erneuert werden. Dazu müssen Referenzmaße für jeden Lautsprecher gespeichert werden.

In einer Ausführungsvariante kann man alternativ diese dynamische Erneuerung des "zentralen" Kontexts und des "seitlichen" Kontexts nicht durchführen, sondern diese Werte ein für allemal ausrechnen, wenn die virtuelle Schallquelle zum Beispiel gegenüber dem Hörer angeordnet ist. Folglich ist bei einer Vorrichtung mit vier Lautsprechern, wie sie in Fig. 11d dargestellt ist, und unter der Annahme einer vorderen Schallquelle der "zentrale Kontext" gleich dem "seitlichen Kontext" und entspricht dem Mittel der von den vorderen linken und rechten Lautsprechern erzeugten Maße, während der "diffuse Kontext" gleich dem Mittel der von den vier Lautsprechern erzeugten Maßen ist.

Um die Energiewerte in dem Prozessor zu ändern, um gewünschte akustische Eigenschaften genau wiederzugeben, ohne daß diese durch die realen akustischen Eigenschaften des Hörraums gestört würden, muß man von den Energiewerten des "Ziel-" Maßes die Energiewerte des "Live-" Maßes abziehen.

Es gibt aber noch eine zusätzliche Bedingung für eine perfekte Kontextkompensation: die akustischen Eigenschaften des "Ziel-" Maßes 170 müssen halliger sein als die des "Kontext-" Maßes 180.

Um die Formeln zu erhalten, die die Veränderung der Energiewerte in dem Prozessor ermöglichen, ist es möglich, eine Energiebilanz durchzuführen, wie sie schematisch in Fig. 6 gezeigt ist.

Mit Hilfe dieser Energiebilanz kann man jeden veränderten Energiewert in den drei Frequenzbändern berechnen, um akustische Eigenschaften zu simulieren, die genau den akustischen "Ziel-" Eigenschaften entsprechen, wie sie vom Hörer wahrgenommen werden sollen. Ausgehend von dieser Bilanz stellt man fest, daß die Energiewerte des "Ziel-" Maßes ein Faltungsprodukt der "Kontext-" Energien mit den geänderten Energien in dem Prozessor darstellen. Daher muß man, um die geänderten Energiewerte zu erhalten, eine Umkehroperation entsprechend einem Entfaltungsvorgang eines Echogramms mit einem anderen durchführen, man muß also eine Entfaltung der akustischen "Ziel-" Eigenschaften von den akustischen "Kontext-" Eigenschaften durchführen. Im vorliegenden Fall werden bei der Wiedergabe einer "Live-" Quelle die akustischen "Ziel-" Eigenschaften zuvor um die akustischen Eigenschaften des "Live-" Maßes vermindert.

Die Energiebilanz, wie sie in Fig. 6 gezeigt ist, beruht auf bestimmten Annahmen. Diese Annahmen sind die folgenden: die Energie OD soll zum Beispiel zwischen 0 und 5 ms konzentriert sein, und die "Ziel-", "Kontext-" und "Live-" Verteilungen sollen mit denselben zeitlichen und Frequenzgrenzen ausgedrückt sein. Die nachfolgenden Gleichungen (1) bis (4) wurden für die zeitlichen Grenzen 20, 40 und 100 ms aufgestellt, wobei diese Gleichungen gültig bleiben, wenn diese Grenzen kongruent geändert werden und zum Beispiel auf 10, 20 und 50 ms festgelegt werden.

Die Energiebilanz erlaubt also, in den drei Frequenzbändern die folgenden Ausdrücke für die Energien der akustischen "Ziel-" Eigenschaften zu erhalten:

$$OD_{Ziel} = OD_{Live} + OD_{Zentral} * OD \quad (1)$$

$$R_{1Ziel} = R_{1Live} + OD \cdot R_{1zentral} + (7/8) \cdot R_1 \cdot OD_{seitlich} \quad (2)$$

$$R_{2Ziel} = R_{2Live} + OD \cdot R_{2zentral} + R_1 \cdot (OD_{seitlich}/8 + R_{1seitlich} + R_{2seitlich}/2) + R_2 \cdot (OD_{diffus} \cdot (23/24) + R_{1diffus}/2 + R_{2diffus}/18) \quad (3)$$

$$R_{3Ziel} = R_{3Live} + OD \cdot R_{3zentral} + R_1 \cdot (R_{2seitlich}/2 + R_{3seitlich}) + R_2 \cdot (OD_{diffus}/24 + R_{1diffus}/2 + R_{2diffus} \cdot (17/18) + R_{3diffus}) + R_3 \cdot (OD_{diffus} + R_{1diffus} + R_{2diffus} + R_{3diffus}) \quad (4)$$

Die Abkürzungen zentral, seitlich und diffus entsprechen den Parametern "zentraler Kontext", "seitlicher Kontext" und "diffuser Kontext" des Kontexts 180.

Aus diesen Ausdrücke werden die modifizierten Werte OD, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> für die drei Frequenzbänder, die eine exakte Wiedergabe eines Raumeffekts bei einer Minimierung der durch reale Akustik eines Hörraums erzeugten Störung ermöglichen, extrahiert und erlauben die folgenden Beziehungen aufzustellen:

$$OD = (OD_{Ziel} - OD_{Live})/OD_{zentral} \quad (5)$$

$$R_1 = \{R_{1Ziel} - [R_{1Live} + R_{1zentral} \cdot OD]\} (8/7)/OD_{seitlich} \quad (6)$$

$$R_2 = \{R_{2Ziel} - [R_{2Live} + R_{2zentral} \cdot OD + R_1 \cdot (OD_{seitlich}/8 + R_{1seitlich} + R_{2seitlich}/2)]\} / [(23/24) \cdot OD_{diffus} + R_{1diffus}/2 + R_{2diffus}/18] \quad (7)$$

$$R_3 = \{R_{3Ziel} - [R_{3Live} + R_{3zentral} \cdot OD + R_1 \cdot (R_{2seitlich}/2 + R_{3seitlich}) + R_2 \cdot (OD_{diffus}/24 + R_{1diffus}/2 + (17/18) \cdot R_{2diffus} + R_{3diffus})]\} / (OD_{diffus} + R_{1diffus} + R_{2diffus} + R_{3diffus}) \quad (8)$$

Die Werte der Hallzeit R<sub>i</sub> bleiben in den drei Frequenzbändern unverändert, sie werden nicht von der Kontextkompensation beeinflusst.

Wenn die akustischen "Ziel-" Eigenschaften global weniger hallig sind als die "Kontext-" und "Live-" Eigenschaften, können die Gleichungen (5) bis (8) zu negativen Werten für die Größen OD, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> führen. In diesem Fall werden diese Werte auf null begrenzt, da sie Energien angeben. Die nachfolgenden Berechnungen werden mit diesen begrenzten Werten durchgeführt, und der Benutzer wird auf die Unmöglichkeit einer perfekten Ausführung der akustischen "Ziel-" Eigenschaften hingewiesen.

Die Fig. 7, 8, 9 und 10 zeigen die Art und Weise, auf die der "Quell-" Modul 11, der "Raum-" Modul 12, der "Pan-" Modul 13 und der "Ausgangs-" Modul 14 des virtuellen Akustikprozessors, die die Durchführung des Verfahrens nach der vorliegenden ermöglichen, die Schallsignale ausgehend von der Daten, die von der Regelungsschnittstelle 40 und von dem Kompensationsoperator 150 geliefert werden, bearbeiten.

Fig. 7 zeigt ein elektronisches Schema eines "Quell-" Moduls zur Schallbehandlung. Dieser Modul ist nicht notwendig sondern optional. Er erhält wenigstens ein Eingangssignal E und hat zur Aufgabe, dem "Raum-" Modul zwei Signale zu liefern, die die virtuelle Schallquelle darstellen: das "Vorderseiten-" Signal, das die akustische Information angibt, die von der Quelle in Richtung des Hörers abgestrahlt wird und das in dem "Raum-" Modul zur Wiedergabe des direkten Schalls verwendet wird; und das "Omni-" Signal, das die mittlere, von der Quelle entlang aller Richtungen abgestrahlte akustische Information angibt und das in dem "Raum-" Modul verwendet wird, um ein künstliches Hallsystem zu versorgen.

Dieser "Quell-" Modul erlaubt, eine "Vorverzögerung", also eine Laufzeitverzögerung τ<sub>ms</sub> 61, ausgedrückt in Millisekunden, einzuführen, der proportional dem Abstand zwischen der virtuellen Quelle und dem Hörer ist und die durch die folgende Formel ausgedrückt wird:

$$\tau_{(ms)} = \text{Abstand}_{(m)} \cdot 3_{(ms)/m}.$$

Diese Vorverzögerung ist nützlich, um zeitliche Verzögerungen zwischen Signalen von verschiedenen Quellen, die sich in unterschiedlichen Abständen befinden, wiederherzustellen. Eine kontinuierliche Veränderung dieser Vorverzögerung erzeugt eine natürliche Wiedergabe des Dopplereffekts, der aus der Bewegung einer Schallquelle entsteht. Dieser Effekt beeinflusst das "Vorderseiten-" und das "Omni-" Signal. Jedoch ist es in einer Ausführungsvariante möglich, in einem der beiden Signale den Verzögerungseffekt auch ohne Dopplereffekt wiederzugeben oder nur den Dopplereffekt wiederzugeben.

In bestimmten Fällen kann der "Quell-" Modul andere Vorbearbeitungen umfassen. So ist zum Beispiel in Fig. 7 eine Spektralkorrektur 62 dargestellt, die ein Tiefpaßfilter verwendet. Diese Korrektur erlaubt vorteilhafterweise den Effekt der Luftabsorption wiederzugeben. Sie wird in Abhängigkeit von der Frequenz in Dezibel pro Meter (dB/m) angegeben und wird durch folgende Formel gegeben:  $G(f) = 0.074 \cdot f^2/H$ , wobei die Frequenz f in kHz (Kilohertz) ausgedrückt wird und H die relative Luftfeuchtigkeit in % ist. Wenn man annimmt, daß H gleich 74% ist, erhält man aus dieser Gleichung:

$$G(f) = f^2/1000, \text{ was heißt daß } G \text{ gleich } 0.1 \text{ dB/m bei } 10 \text{ kHz ist.}$$

Es kann nützlich sein, abhängig von der Technik der Tonaufnahme oder der Synthese, die zur Erzeugung des Eingangssignals E verwendet wird, zwei zusätzliche spektrale Korrekturen auf dieses Signal anzuwenden, bevor das Vorderseiten- und das Omnisignal an den "Raum-" Modul angelegt werden. Dies ist durch die Ausgleichsfilter 63 und 64 der Fig. 7 dargestellt.

Entsprechend einer weiteren Ausführungsvariante können die zusätzlichen spektralen Korrekturen, die in diesem Modul durchgeführt werden, auch in dem "Raum-" Modul integriert sein. Außerdem kann die variable Verzögerungsleitung 61, die die Wiedergabe des Dopplereffekts ermöglicht, und das Filter 62, das die Luftab-

sorption simuliert, in dem "Raum-" Modul integriert sein. Diese Korrekturen werden aus praktischen Überlegungen den einzelnen Modulen zugewiesen.

Fig. 8 zeigt ein Beispiel der Art und Weise, mit der der "Raum-" Modul die "Vorderseiten-" und "Omni-" Signale, die vom "Quell-" Modul herkommen, ausgehend von den von dem automatischen Kompensationsoperator 150 erzeugten Daten im Hinblick auf eine Mehrkanalwiedergabe auf fünf oder sieben Lautsprechern bearbeitet.

Der "Raum-" Modul erlaubt somit, unterschiedliche Verzögerungen in den Elementarsignalen zu erzeugen, um einen Raumeffekt zu erzeugen und seine Kontrolle in Echtzeit zu ermöglichen. Der Modul weist zwei Eingänge und sieben Ausgänge auf. Die Eingangssignale, die von dem "Quell-" Modul herkommen, sind das "Vorderseiten-" Signal und das "Omni-" Signal. Die sieben Ausgangssignale entsprechen dem Standard-Stereo-3/4-Format, das drei vordere Kanäle mit vier "Umgebungs-" Kanälen verbindet.

Zwei Hauptausgleichsfilter 710 und 720 erlauben, die Abstrahlungseigenschaften der Quelle zu berücksichtigen. Die von diesen beiden Filtern erzeugten Signale werden "direkt" für den direkten Schall und "Raum" für den diffusen Schall, der im Mittel in den gesamten Raum abgestrahlt wird, bezeichnet. Die Richtwirkung der natürlichen Schallquellen hängt in der Tat stark von der Frequenz ab. Das muß bei der natürlichen Wiedergabe der von einer Schallquelle in einem Raum erzeugten akustischen Eigenschaften berücksichtigt werden.

In dem Fall, in dem der Schall von einer natürlichen Quelle erzeugt wird, die zum Beispiel zum Hörer gerichtet ist, muß das Ausgleichsfilter 720 des "Raum-" Signals in den hohen Frequenz abgeschnitten sein, während das Ausgleichsfilter 710 des direkten Signals nicht abgeschnitten ist. In der Tat besitzen die natürlichen Quellen in den hohen Frequenzen eine viel größere Richtwirkung, während sie in den niedrigen Frequenzen dazu neigen, onnidirektional zu werden.

Dieser Effekt wird auf natürliche Weise Dank des Wahrnehmungsoperators 140 erhalten, denn die Filter 710 und 720 werden durch die Energien OD beziehungsweise  $R_3$  in den drei Frequenzbändern gesteuert.

Das Signal, das den direkten Schall darstellt, wird somit durch die Parameter "Achse" und "Brillanz" beeinflusst und verläßt den "Raum-" Modul nach einer Filterung durch das digitale Ausgleichsfilter 710 über den zentralen Kanal "C".

Das "Raum-" Signal seinerseits wird in eine Verzögerungsleitung ( $t_1$  bis  $t_N$ ) 731 eingegeben. Diese Verzögerungsleitung 731 erlaubt, in der Zeit versetzte Elementarsignale zu erzeugen, die eine Mehrzahl von Vorechos bilden, die Kopien des Eingangs-"Raum-" Signals sind. In dem in Fig. 6 dargestellten Beispiel umfaßt die Verzögerungsleitung 731 acht Ausgangskanäle. Natürlich kann diese Leitung mehr oder weniger Ausgangskanäle aufweisen, aber die Anzahl N der Kanäle ist vorzugsweise gerade.

Die acht Ausgangssignale erfahren anschließend eine gewichtete Summierung durch einstellbare Verstärkungen  $b_1$  bis  $b_N$  732 und werden in zwei Gruppen unterteilt, die die linken Primärreflexionen beziehungsweise die rechten Primärreflexionen darstellen. Ein digitales Ausgleichsfilter 733 erlaubt die Durchführung einer spektralen Korrektor der beiden die Primärreflexionen darstellenden Signale, die dann die seitlichen Kanäle L und R der Wiedergabevorrichtung versorgen. Die Signale L und R ermöglichen also eine Wiedergabe des von den seitlichen, neben dem zentralen Lautsprecher angeordneten Lautsprechern herkommenden Schalls, wie es in den Fig. 11e und 11f dargestellt ist.

Die Gesamtheit der 8 Elementarsignale, die von der Verzögerungsleitung 731 erzeugt werden, werden auf der anderen Seite in eine unitäre Mischmatrix 741 eingegeben, an deren Ausgang eine Verzögerungsbank 742 angeordnet ist. Die elementaren Verzögerungen ( $\tau_1$  bis  $\tau_N$ ) sind alle voneinander unabhängig. Die acht Ausgangssignale erfahren anschließend Summierungen und werden in vier Gruppen zu zwei Signalen aufgeteilt, die ein digitales Ausgleichsfilter 743 versorgen. Dieses Filter 743 ermöglicht, eine spektrale Korrektur der vier Signale durchzuführen, die die sekundären Reflexionen darstellen. Die von dem Filter 743 erhaltenen vier Signale bilden die sekundären Reflexionen  $R_2$  und versorgen die Kanäle S1, S2, S3 und S4.

Schließlich werden die acht von dieser Verzögerungsbank 742 erhaltenen Elementarsignale auf der anderen Seite in eine unitäre Mischmatrix 744 und dann in absorbierende Verzögerungsbänke 745 ( $\tau_1$  bis  $\tau_N$ ) eingegeben und werden in die unitäre Mischmatrix 744 rückgekoppelt, um einen Nachhall zu erzeugen. Die acht Ausgangssignale werden zweierweise summiert, um eine Gruppe von vier Signalen zu bilden. Diese vier Signale werden dann von einem Verstärker 746 mit einstellbarer Verstärkung verstärkt. Die von diesem Verstärker 746 erhaltenen vier Signale bilden den Nachhall  $R_3$ .

Die vier die sekundären Reflexionen  $R_2$  bildenden Signale werden dann in einer unitären Matrix 750 zu den vier den Nachhall bildenden Signalen  $R_3$  addiert. Diese unitäre Matrix 750 umfaßt vorzugsweise vier Ausgangskanäle, die mit den Kanälen S1, S2, S3, S4 des "Raum-" Moduls verbunden sind. Die Ausgangssignale S1 bis S4 stellen den diffusen Schall dar, der von allen Richtung kommt und den Hörer umgibt.

Eine Variante besteht darin, ein Filter hinzuzufügen, das eine spektrale Korrektur der dem Nachhall entsprechenden Signale durchführt. Jedoch ist dieses Filter fakultativ, da der spektrale Gehalt des Nachhalls schon durch das Filter 720 des "Raum-" Signals bestimmt wird.

Die Energieverstärkungen am Ausgang des "Raum-" Moduls der verschiedenen Signale, die den Energien OD,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  entsprechen, können dann mittels folgender Ausdrücke bestimmt werden:

$$G_{(OD)} = OD; G_{(R1)} = R1/N; G_{(R2)} = R2/N;$$

$$G_{(R3)} = R3 * (1/K - 1/N) \text{ wobei } K = \sum_{i=1}^N 10^{(-6 * \tau_i / R_i)}$$

K erlaubt, die Energie  $R_3$  des Nachhalls unabhängig von der Nachhallzeit  $R_i$  und der Dauer der absorbierenden Verzögerungen  $\tau_i$  zu erhalten.

Diese Formeln ermöglichen, die Filter 710, 733, 743 und die Verstärkung 74 in den mittleren Frequenzen zu regeln, während die Verstärkung des Filters 710 in diesen Frequenzen bei 1 belassen wird. Im Gegensatz dazu wird die für die Energie  $R_3$  notwendige spektrale Korrektur in den hohen und tiefen Frequenzen durch das Filter 720 durchgeführt, das sich vor den Filtern 733 und 743 befindet. Folglich müssen die durch die beiden Filter 733 und 743 durchgeführten Korrekturen relativ zu dem Filter 720 bestimmt werden, um die gewünschte Verteilung der Energie  $R_1$  und  $R_2$  in den drei Frequenzbändern zu erhalten.

Das Prinzip der Simulation der Vorechos und des Nachhalls und ein ähnliches System für künstlichen Nachhall sind schon aus der französischen Patentanmeldung Nr. 92 02528 bekannt und dort beschrieben.

In diesem Stadium des Verfahrens ist das Zwischenwiedergabeformat mit sieben Ausgangskanälen des "Raum-" Moduls, das einen künstlichen Hall ermöglicht, insofern interessant, als es ein direktes Hören mittels einer "Stereo-3/2-" oder "Stereo-3/4-" Vorrichtung ermöglicht, bei dem die drei vordere Kanäle und zwei beziehungsweise vier "Umgebungs-" Kanäle bezogen auf die Referenzhörposition miteinander verbunden sind. Die sieben Signale C, L, R,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  und  $S_4$  des "Raum-" Moduls werden dann zum "Pan-" Modul übertragen, der eine Matrix mit sieben Eingängen und p, der Hörvorrichtung entsprechenden Ausgängen ist.

Der "Pan-" Modul, der in Fig. 9 dargestellt ist, erlaubt insbesondere, eine kontinuierliche Kontrolle der scheinbaren Position der Schallquelle bezüglich des Hörers durchführen. Allgemeiner gesagt kann man diesen Modul als Transformationsmatrix betrachten, die ein Signal mit dem Stereo-3/2- oder dem Stereo-3/4-Format empfangen kann und es in einen anderen Wiedergabemodus, das heißt entweder in den Binauralmodus, den Transauralmodus, den Stereomodus oder in den Mehrkanalmodus, umwandeln kann.

Der "Pan-" Modul enthält in Realität drei Panoramapotentimeter 811, 812 und 813, die mit einer gemeinsamen Richtungssteuerung verbunden sind, um die Einfallsrichtung der mit den Kanälen L und R verbundenen Primärreflexionen bezüglich des direkten Schalls festzulegen. Diese Ausführungsform kann auf eine beliebige Wiedergabevorrichtung über Lautsprecher oder Kopfhörer angewendet werden und führt eine Formatumwandlung ausgehend von dem Zwischenformat Standard-Stereo-3/2 oder Standard-Stereo-3/4 durch, wobei immer die direkte Kontrolle der scheinbaren Lokalisierungsrichtung der Quelle ermöglicht ist.

In dem von Beginn dieser Beschreibung an gewählten Beispiel ist der Wiedergabemodus ein Mehrkanalmodus auf acht Lautsprechern. Folglich besitzt der "Pan-" Modul acht Ausgänge. Wenn der Wiedergabemodus über vier Lautsprecher erfolgt, besitzt der "Pan-" Modul vier Ausgänge.

Der "Pan-" Modul ist also in der Lage, virtuell den direkten Schall C und den von den Seiten L, R kommenden, seitlichen Schall zu drehen, wobei die Signale  $S_1$  bis  $S_4$ , die den diffusen Schall darstellen, also die sekundären Reflexionen und der Nachhall, konstant gehalten werden. Dazu ermöglicht eine Matrix 810 die Umwandlung der Signale  $S_1$  bis  $S_4$  in acht Signale, während die drei anderen Signale C, L und R von den drei Panoramapotentimetern 811, 812 und 813 bearbeitet werden. Die Matrix 810 besitzt acht Ausgangskanäle. Weiterhin werden die acht Ausgangssignale jedes der Potentiometer 811, 812 und 813 des "Pan-" Moduls zu den acht Ausgangssignalen dieser Matrix addiert.

Um die Arbeitsweise dieses Moduls zu verstehen, betrachte man das Beispiel einer Wiedergabe über vier Lautsprecher. In diesem Fall werden der direkte Schall C und der von den Seiten kommende Schall L und R zum Beispiel von den beiden vor dem Hörer angeordneten Lautsprechern wiedergegeben, während die anderen Signale  $S_1$  bis  $S_4$ , die den diffusen Schall ( $R_2 + R_3$ ) wiedergeben, von den vier, den Hörer umgebenden Lautsprechern wiedergegeben werden. Wenn sich der direkte Schall C dreht, drehen sich die Signale L und R mit diesem, während die Signale  $S_1$  bis  $S_4$  fest bleiben. Auf diese Weise werden, wenn man den direkten Schall C nach rechts drehen möchte, die Signale C, L und R auf den beiden rechts vom Hörer befindlichen Lautsprechern wiedergegeben, während die Signale  $S_1$  bis  $S_4$  immer noch von den vier ihn umgebenden Lautsprechern wiedergegeben werden. Ausgehend von dieser Darstellung wird der Kontext durchgeführt.

Fig. 10 stellt die Art und Weise dar, in der der "Ausgangs-"Modul, der vorkonfiguriert ist, die von dem "Pan-"Modul herkommenden Signale bearbeitet. Der "Ausgangs-"Modul erlaubt, den Frequenzresponse jeder der Lautsprecher getrennt auszugleichen und die Laufzeitdifferenzen des Signals zu kompensieren. Die zeitlichen Verschiebungen 910 hängen von der Geometrie der Lautsprecheranordnung ab. Die spektrale Korrektur mittels Filter 911 muß so durchgeführt werden, daß alle Lautsprecher an der Referenzhörposition so vernommen werden, als befanden sie sich im selben Abstand vom Hörer und besaßen im wesentlichen denselben Frequenzresponse.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Simulation der akustischen Eigenschaften, die von einer virtuellen Schallquelle erzeugt werden, und der Lokalisierung dieser Quelle bezüglich eines oder mehrerer Hörer ausgehend von einem Eingangssignal (E), das von einer oder mehreren Ursprungsschallquellen erhalten wird, dadurch gekenn-

zeichnet, daß das Verfahren folgende Schritte umfaßt:

- 1 – Bestimmen (100) von Wahrnehmungsfaktorwerten mit Hilfe einer Regelungsschnittstelle, die die zu simulierenden Eigenschaften (120) definieren, und von Parameterwerten, die die Lokalisierung (110) einer virtuellen Quelle definieren,
  - 2 – Umwandeln (140) dieser Werte in eine Impulsantwort, die durch ihre Energieverteilung als Funktion der Zeit und der Frequenz beschrieben wird,
  - 3 – Durchführen einer Kontextkompensation (150), wobei ein existierender Raumeffekt berücksichtigt wird,
  - 4 – Erzeugung eines künstlichen Halls (160) ausgehend von den Elementarsignalen, die von dem Eingangssignal (E) erhalten werden, um in Echtzeit eine virtuelle Akustik zu erzeugen, die in dem ersten Schritt (100) definiert wurde, und
  - 5 – Kontrollieren der Lokalisierung der virtuellen Quelle.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Verfahrensschritt außerdem darin besteht, Parameterwerte, die die Ausrichtung und die Richtwirkung (130) eines von der virtuellen Schallquelle emittierten Schallsignals definieren, festzulegen.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Kontextkompensation darin besteht, die Energiewerte, die die Simulation einer Akustik erlauben, zu modifizieren, wobei drei Typen von Nachrichten, nämlich der "Kontext" (180), das "Ziel" (170) und das Maß "live" (181), berücksichtigt werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Kontextkompensation die Energiewerte der Impulsantwort in jedem Frequenzband entsprechend dem Prinzip einer Entfaltung eines Echogramms von einem anderen modifiziert werden und die Werte durch die folgenden Ausdrücke erhalten werden:

$$OD = (OD_{Ziel} - OD_{Live}) / OD_{Zentral} \quad (5)$$

$$R_1 = \{R_{1Ziel} - [R_{1Live} + R_{1Zentral} \cdot OD]\} \cdot (8/7) / OD_{seitlich}$$

$$R_2 = \{R_{2Ziel} - [R_{2Live} + R_{2Zentral} \cdot OD + R_1 \cdot (OD_{seitlich}/8 + R_{1seitlich} + R_{2seitlich}/2)] / [(23/24) \cdot OD_{diffus} + R_{1diffus}/2 + R_{2diffus}/18]\}$$

$$R_3 = \{R_{3Ziel} - [R_{3Live} + R_{3Zentral} \cdot OD + R_1 \cdot (R_{seitlich}/2 + R_{3seitlich}) + R_2 \cdot (OD_{diffus}/24 + R_{1diffus}/2 + (17/18) \cdot R_{2diffus} + R_{3diffus})] / (OD_{diffus} + R_{1diffus} + R_{2diffus} + R_{3diffus})\}$$

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Signale, die die Erzeugung eines künstlichen Halls erlauben, sieben an der Zahl sind und den direkten Schall (C), den von den linken (L) und rechten (R) Seiten kommenden Schall und den mittleren diffusen Schall der von allen Richtungen (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>), die den Hörer umgeben, kommt, darstellen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Wahrnehmungsfaktoren, die die zu simulierenden akustischen Eigenschaften definieren folgende sind: die Präsenz, die Brillanz und die Wärme der virtuellen Quelle, die Raumpräsenz, der Vorhall, der Nachhall, die Lebendigkeit und die Intimität.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Energiewerte der Impulsantwort dem direkten Schall (OD), den Primärreflexionen (R<sub>1</sub>), den Sekundärreflexionen (R<sub>2</sub>), dem Nachhall (R<sub>3</sub>) und der Hallzeit (R<sub>4</sub>) in den drei Frequenzbändern entsprechen.

8. Virtueller Akustikprozessor, der die Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 ermöglicht, dadurch gekennzeichnet, daß er einen "Raum-" Modul (12) zur Signalbearbeitung, der die Erzeugung eines künstlichen Halls ermöglicht, und einen "Pan-" Modul (13) zur Signalbearbeitung, der die Kontrolle der Lokalisierung und der Bewegung der Schallquelle erlaubt und eine Formatumwandlung in einen anderen Wiedergabemodus durchführt, umfaßt.

9. Prozessor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß er außerdem weitere Module (11, 14) zur Schallbearbeitung und ein mit einer Regelungsschnittstelle (40) für Wahrnehmungsfaktoren, die unabhängig voneinander auf einen oder mehrere Parameter, die in Energiewerten ausgedrückt sind, wirken, verbundenes Arbeitsprogramm umfaßt.

10. Prozessor nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß er außerdem einen Wahrnehmungsoperator (31, 140), der geeignet ist, die Umwandlung der Wahrnehmungsfaktoren und der Lokalisierungsparameter und/oder der Orientierungs- und Richtwirkungsparameter in Energiewerte durchzuführen, und einen weiteren Operator (32, 150) umfaßt, der die Durchführung einer Kontextkompensation ermöglicht.

11. Prozessor nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der "Raum-" Modul (12), der die Erzeugung eines künstlichen Halls ausgehend von Elementarsignalen zur Simulation einer Akustik in Echtzeit erlaubt, umfaßt:

– ein erstes digitales Ausgleichsfilter (710) zum Durchführen einer Spektralkorrektur des direkten Schalls,

– ein zweites digitales Ausgleichsfilter (720) zum Durchführen einer Spektralkorrektur des mittleren Schalls, der von einer virtuellen Schallquelle in alle Richtungen abgestrahlt wird,

– eine Verzögerungsleitung (731), die die Erzeugung von in der Zeit verzögerten Kopien des mittleren Schallsignals ("Raum") am Eingang dieser Leitung ermöglicht, und ein Ausgleichsfilter (733), um diese Signale, die den von den Seiten (L, R) kommenden Schall darstellen und für die Primärreflexionen (R<sub>1</sub>) charakteristisch sind, zu filtern.

— eine erste unitäre Matrix (741), die mit einer Verzögerungsbank (742) und einem Ausgleichsfilter (743) verbunden ist, und eine zweite unitäre Matrix (744), die mit einer absorbierenden Verzögerungsbank (745) und einem Ausgleichsfilter (746) verbunden ist, um vier für die sekundären Reflexionen ( $R_2$ ) charakteristische Signal beziehungsweise vier für den Nachhall ( $R_3$ ) charakteristische Signale zu erzeugen.

12. Prozessor nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die aufeinander folgenden Schallbearbeitungsmodule umfassen:

- einen ersten, "Quell-" Modul (11), der geeignet ist, ausgehend von einem einzigen Schallsignal (E) den direkten (Vorderseiten-) Schall, der von einer Schallquelle zu einem Hörer hin abgestrahlt wird, und den diffusen (Omni-) Schall, der von der Quelle in alle Richtungen abgestrahlt wird, zu trennen,
- einen zweiten, "Raum-" Modul (12), der die Bearbeitung der beiden Arten von Signalen, die von dem "Quell-" Modul kommen, auf solche Weise ermöglicht, daß ein Raumeffekt simuliert wird,
- einen dritten, "Pan-" Modul (13), der die Kontrolle der Lokalisierung der Quelle und die Umwandlung der Konfiguration von einem Wiedergabemodus der von dem "Raum-" Modul erhaltenen Signale ermöglicht, und
- einen letzten, "Ausgangs-" Modul (14), der entsprechend dem Wiedergabemodus, der entsprechend der Konfiguration des "Pan-" Moduls ausgewählt wird, vorkonfigurierte Ausgleichsfilter aufweist.

Hierzu 13 Seite(n) Zeichnungen



- Leerseite -

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

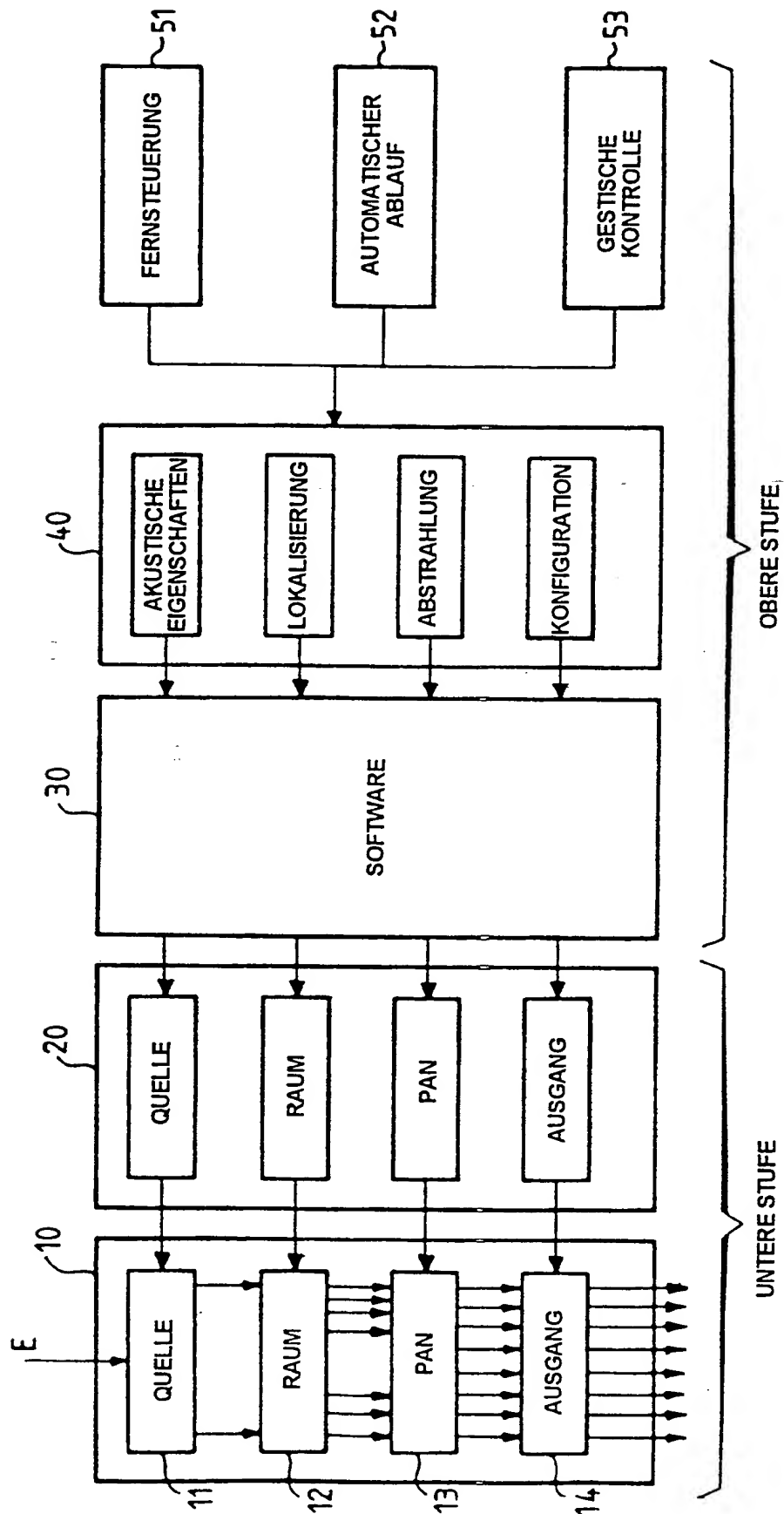
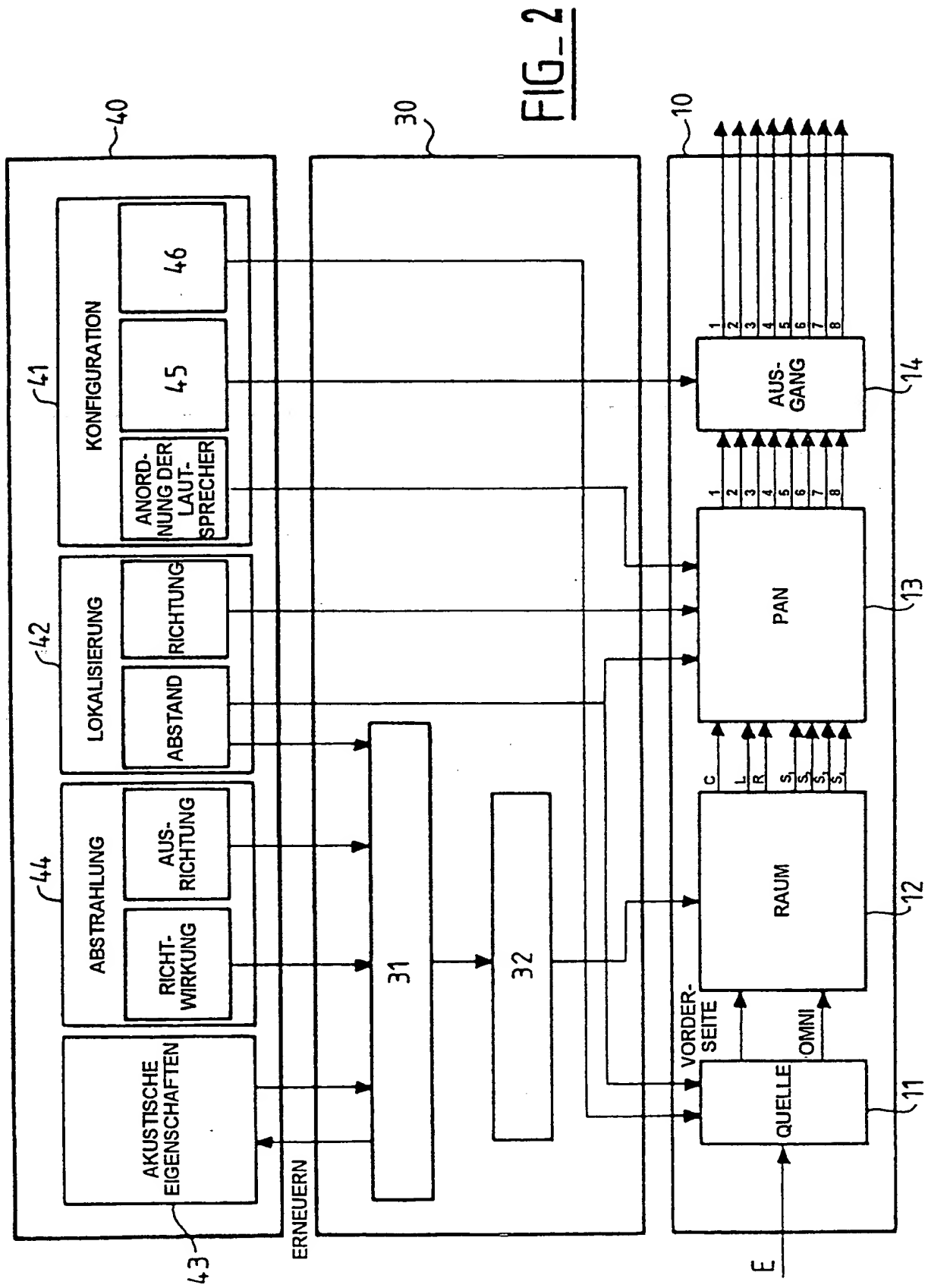
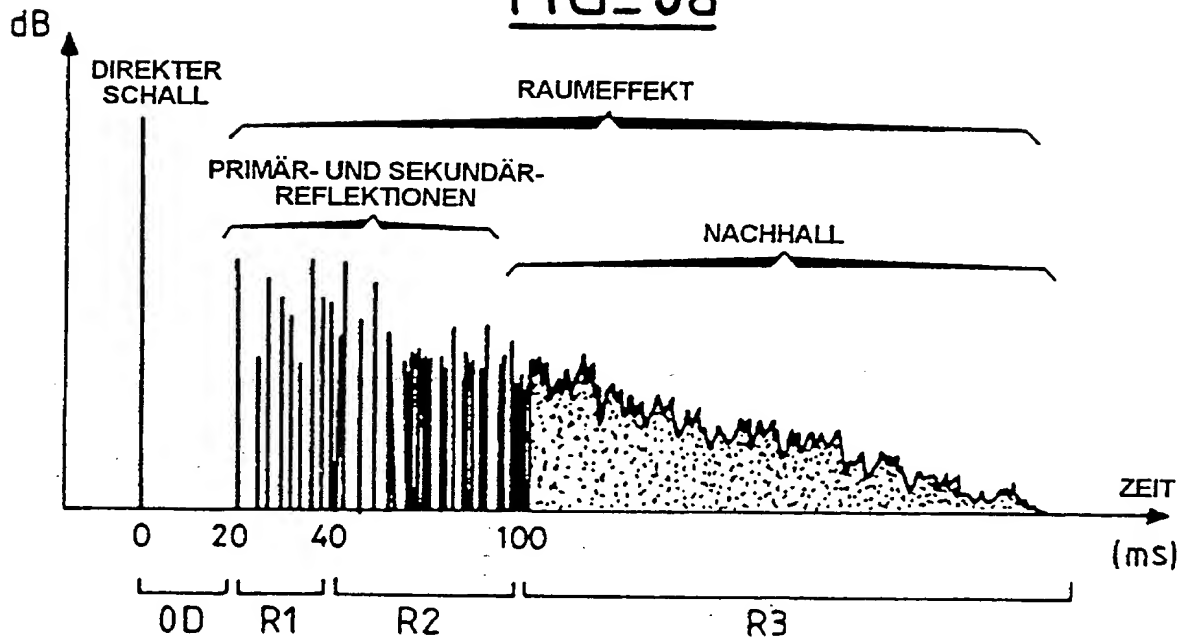


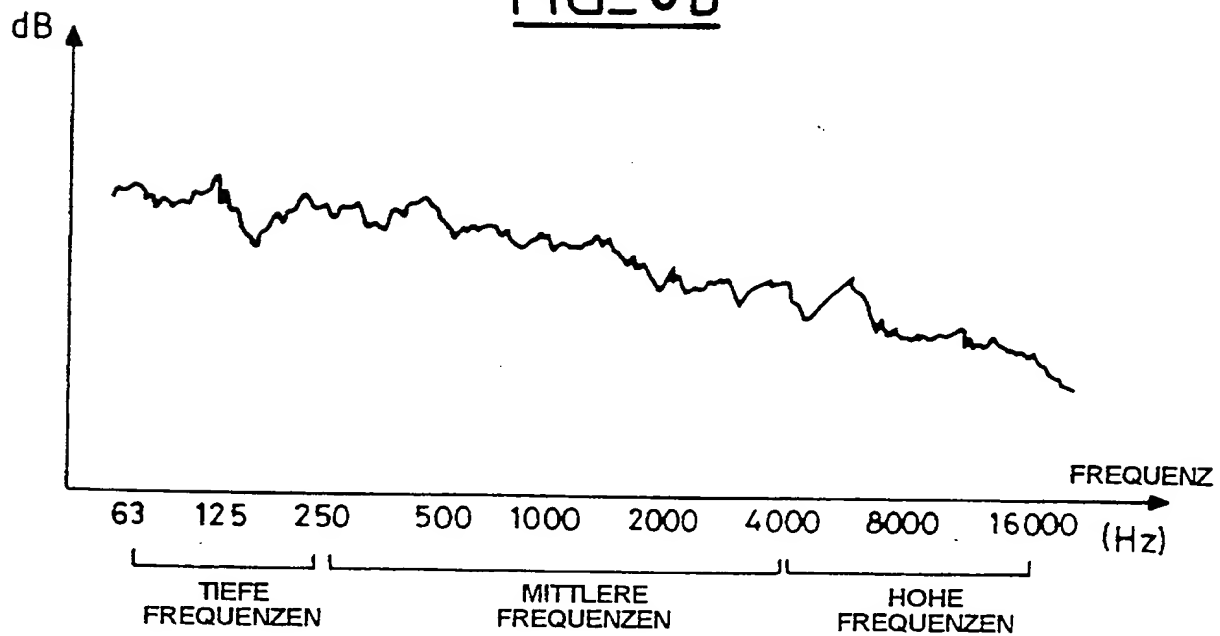
FIG-1

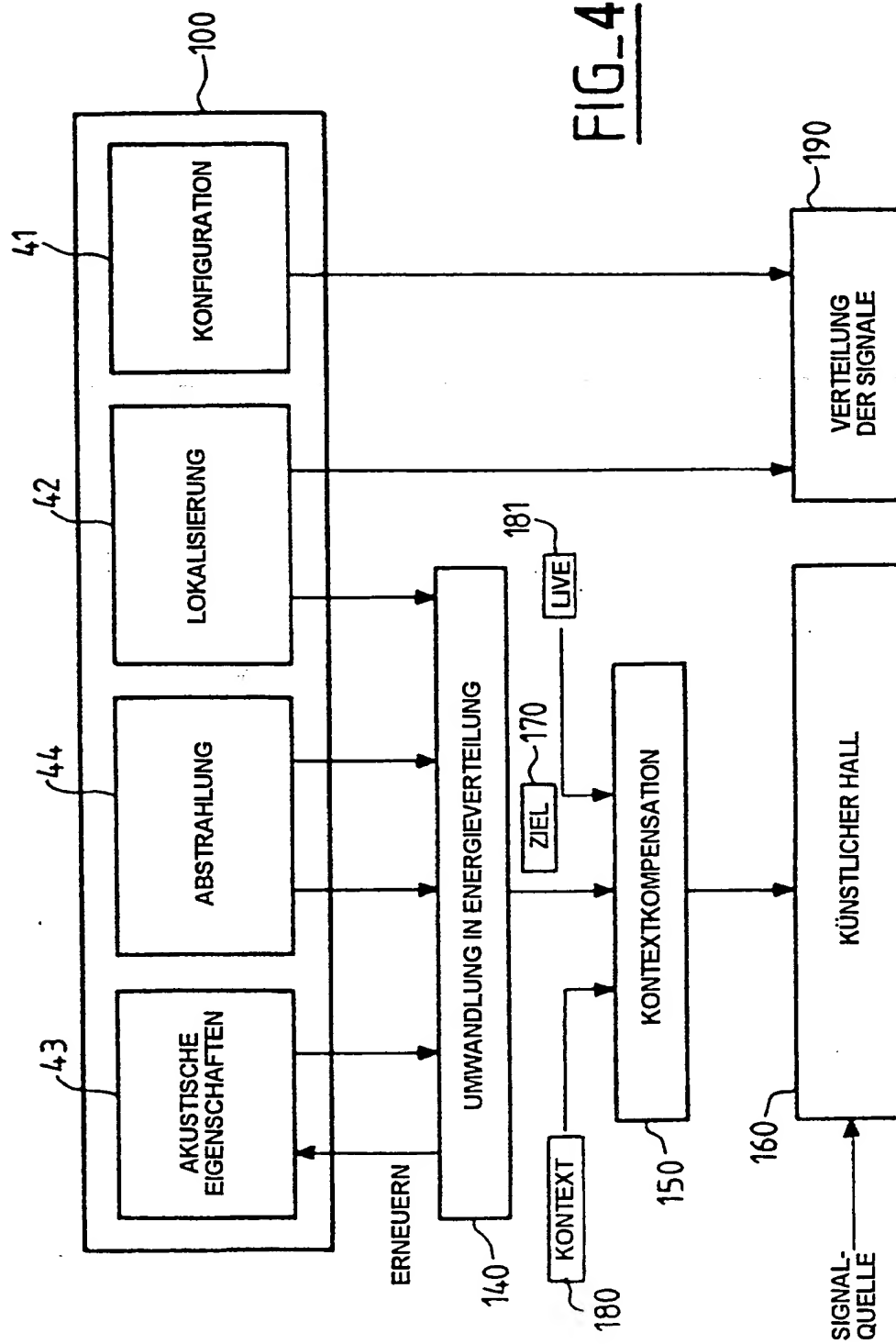


FIG\_3a

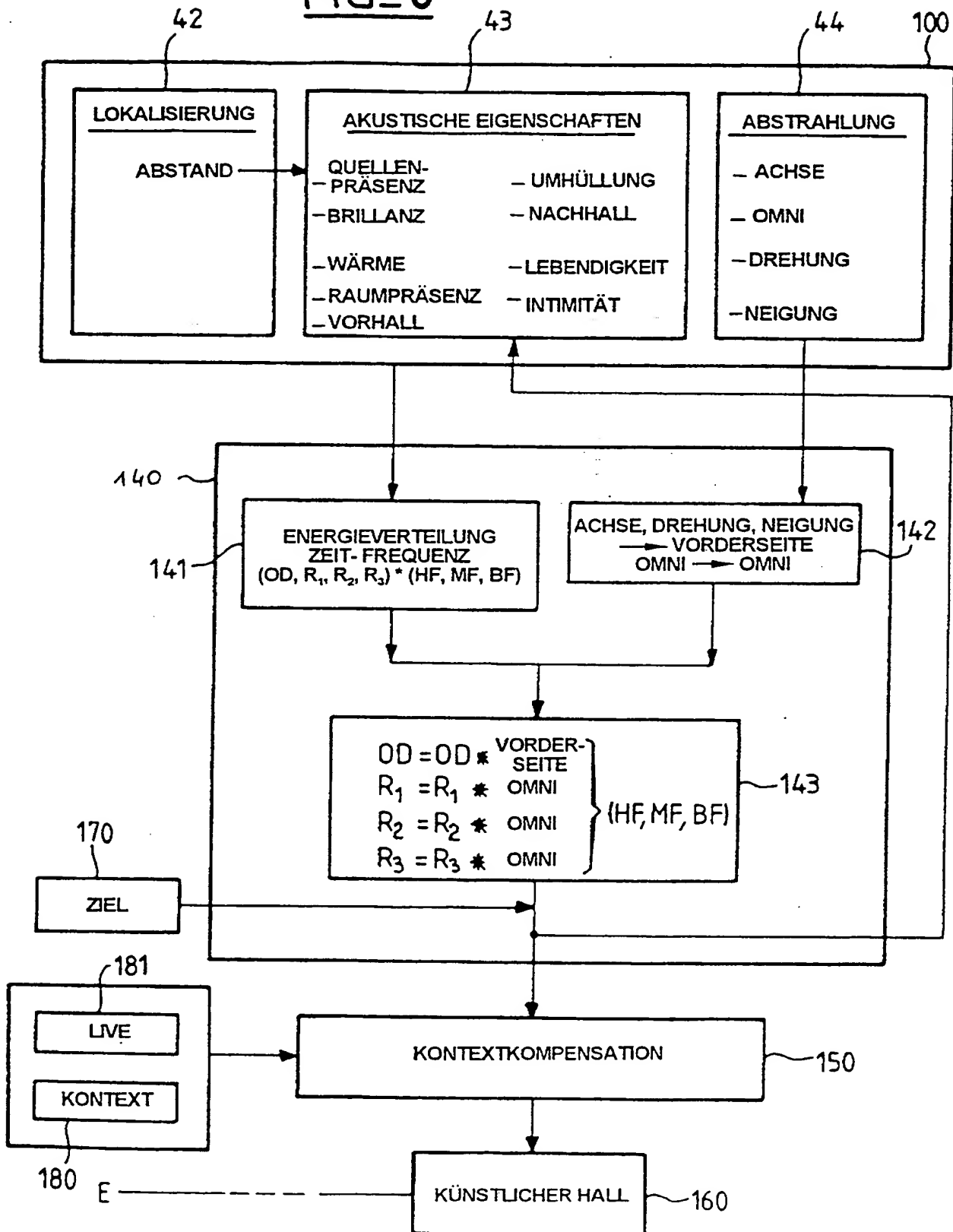


FIG\_3b



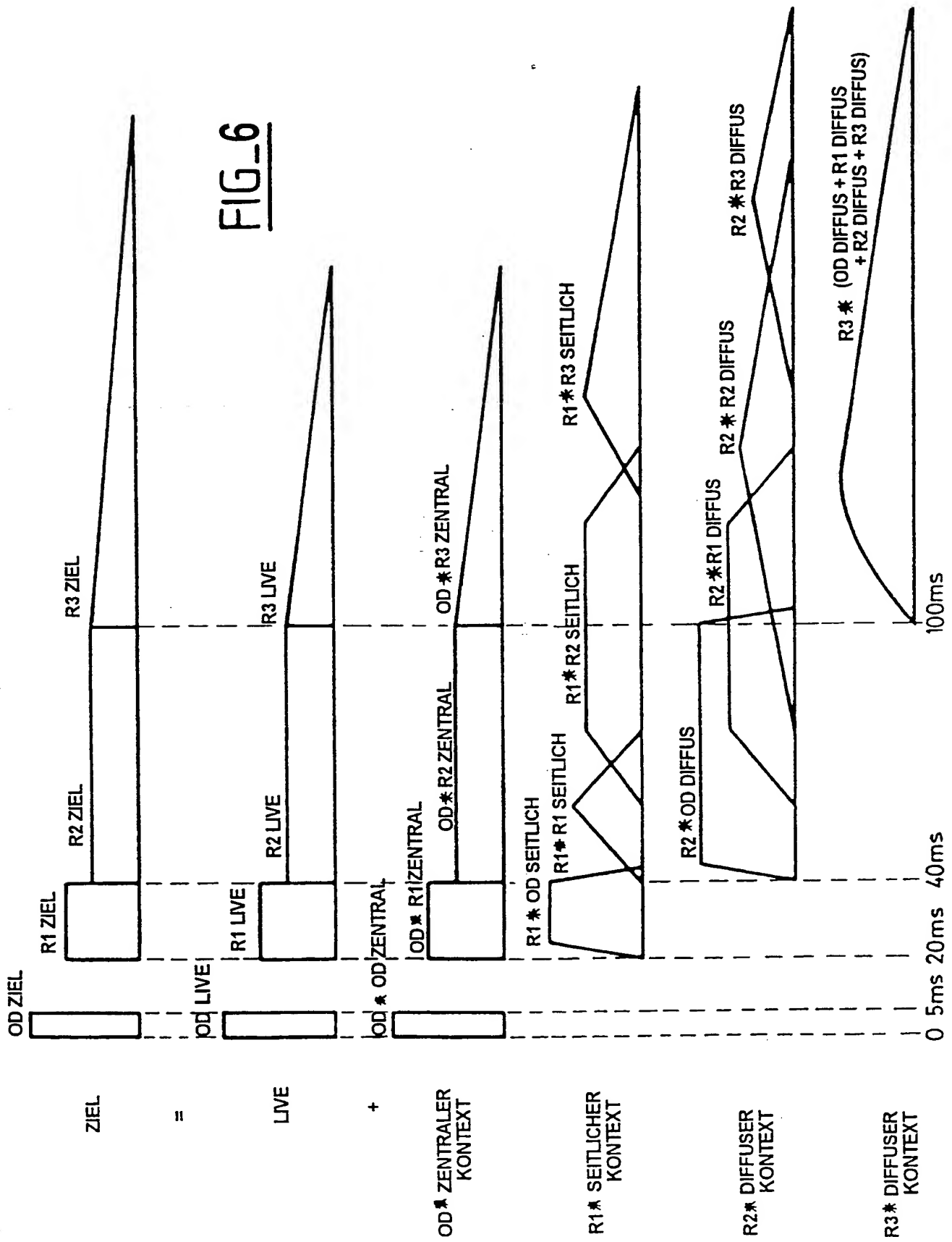


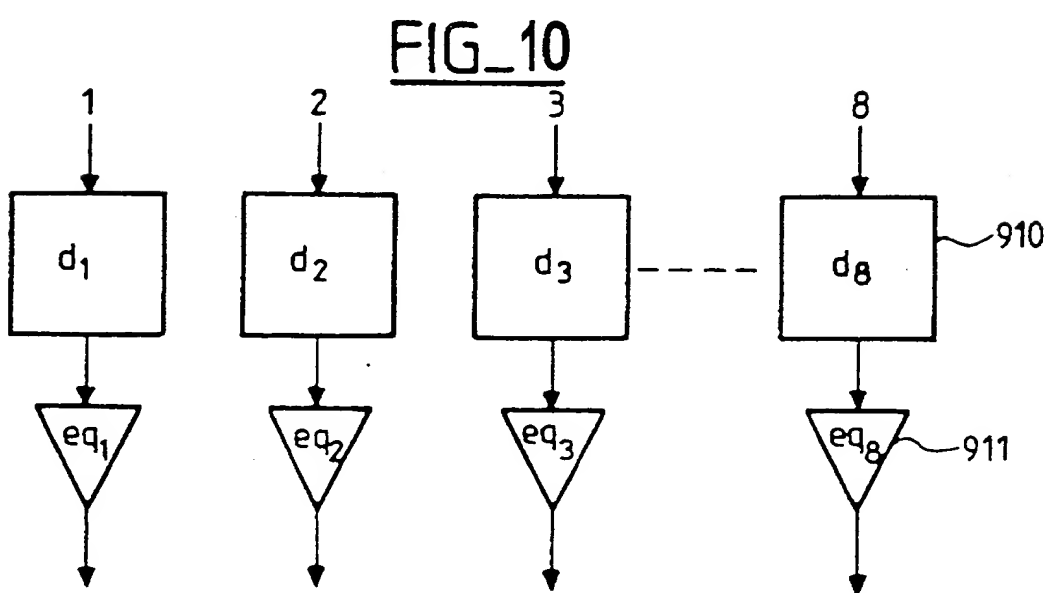
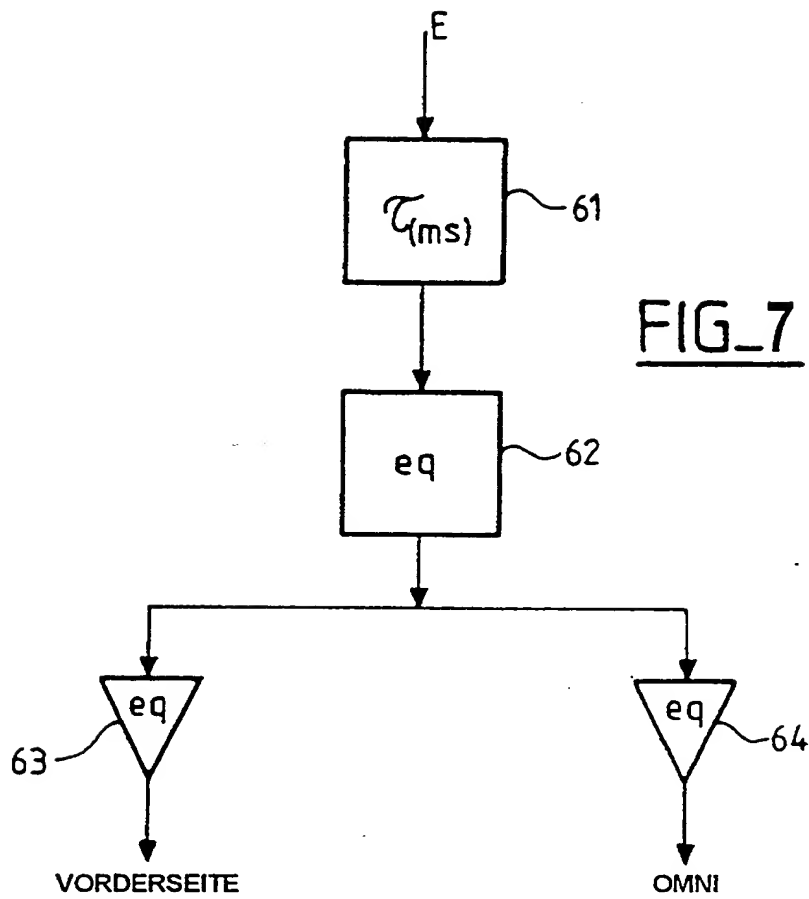
**FIG\_5**



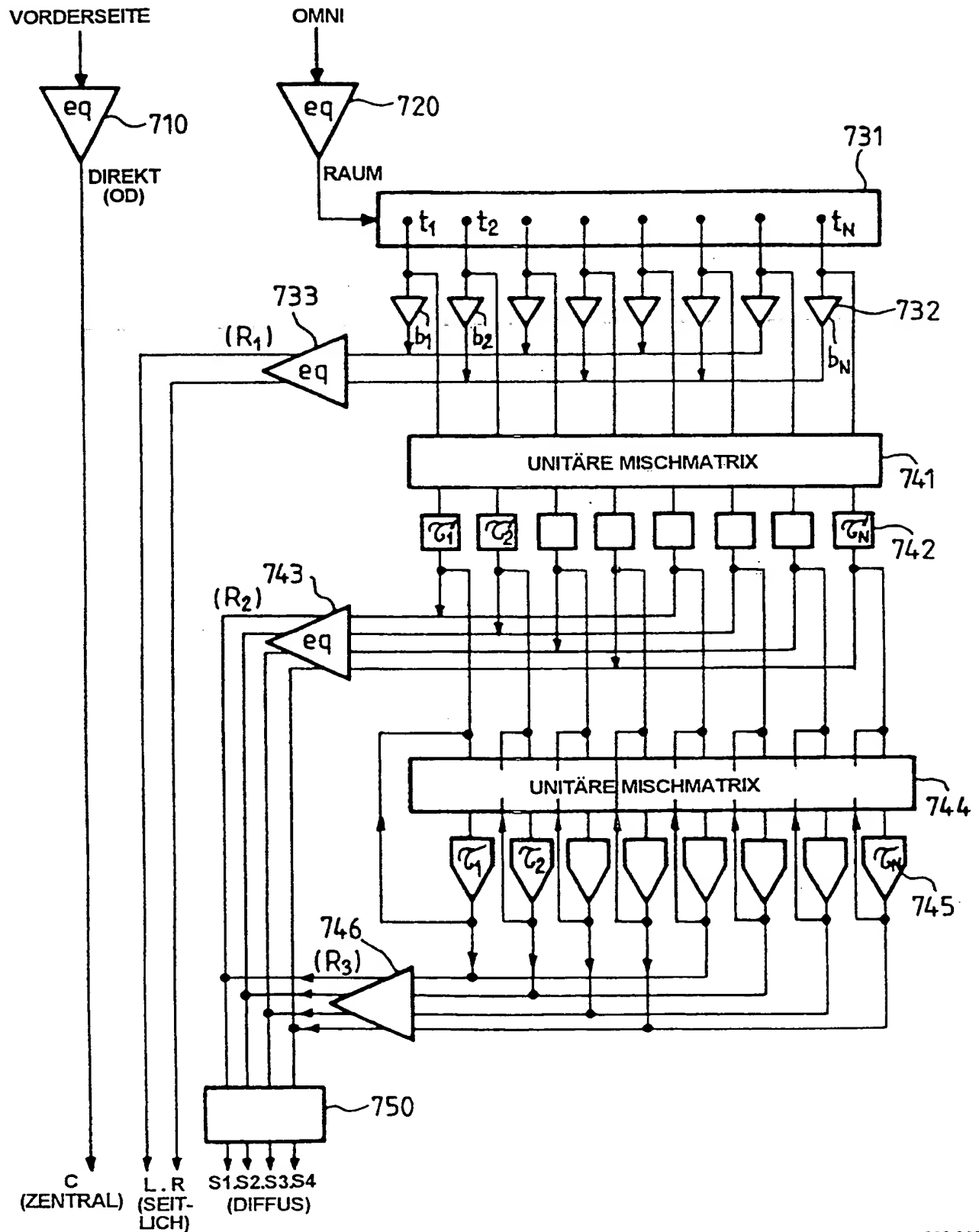


FIG\_6

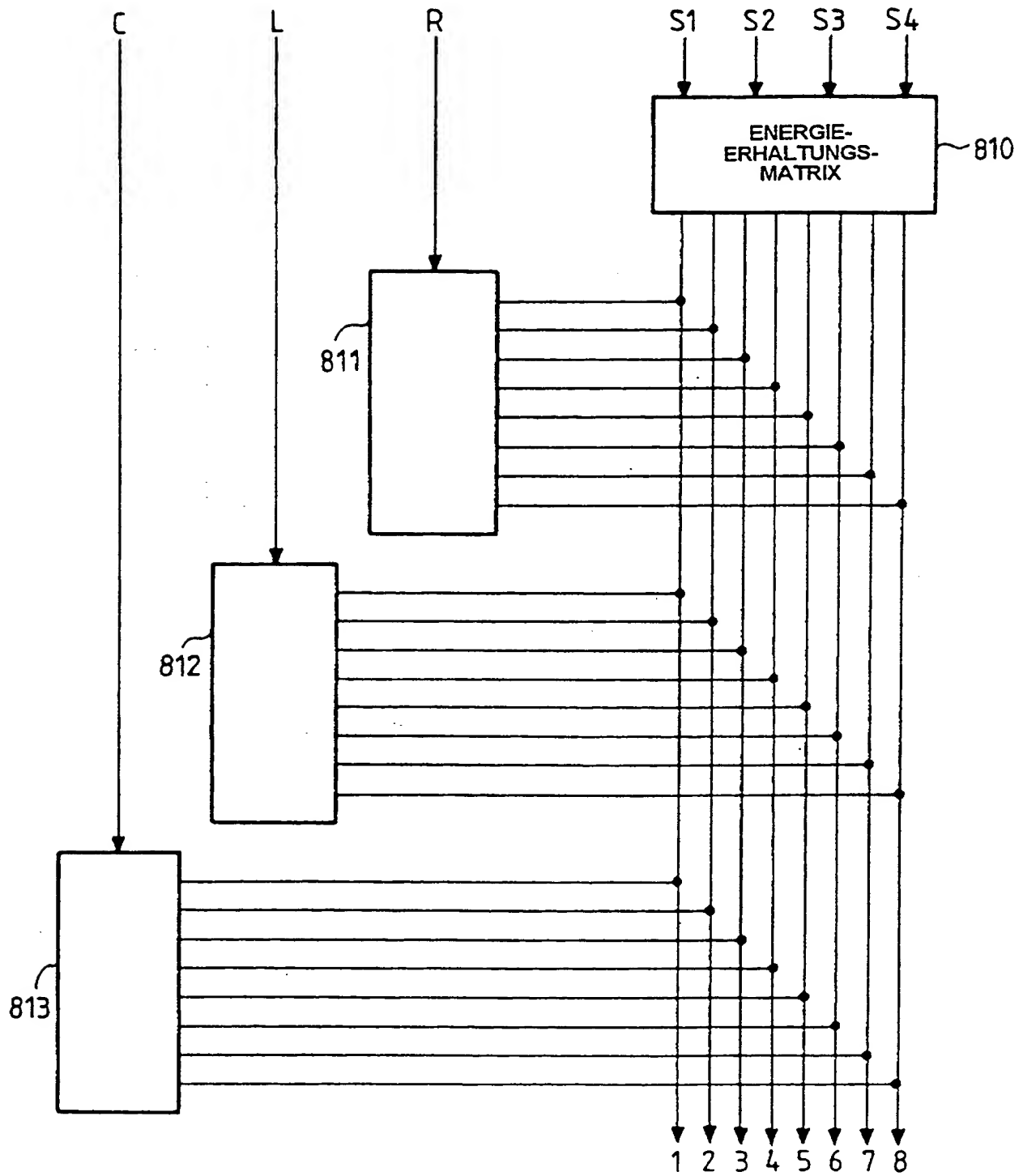




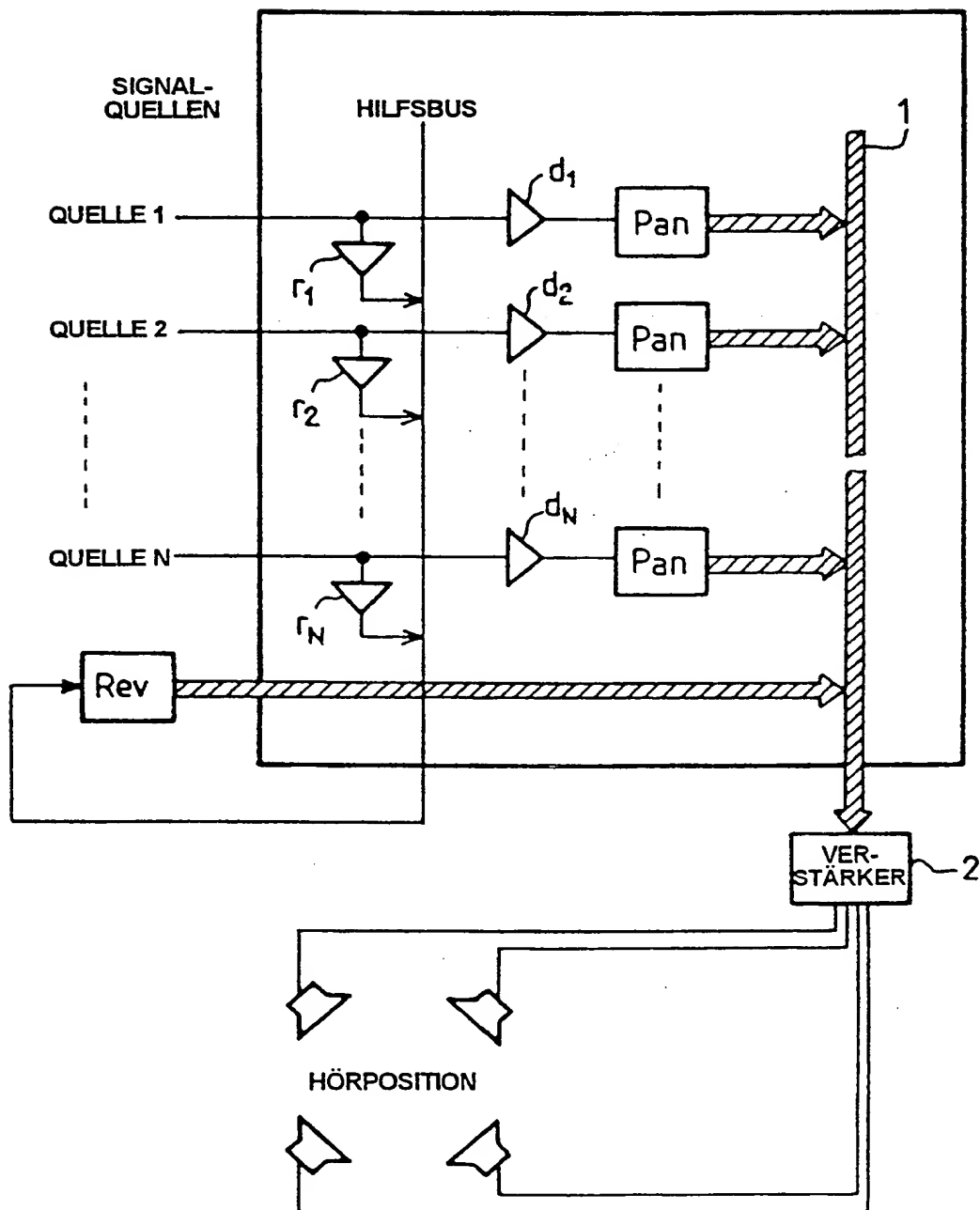
FIG\_8



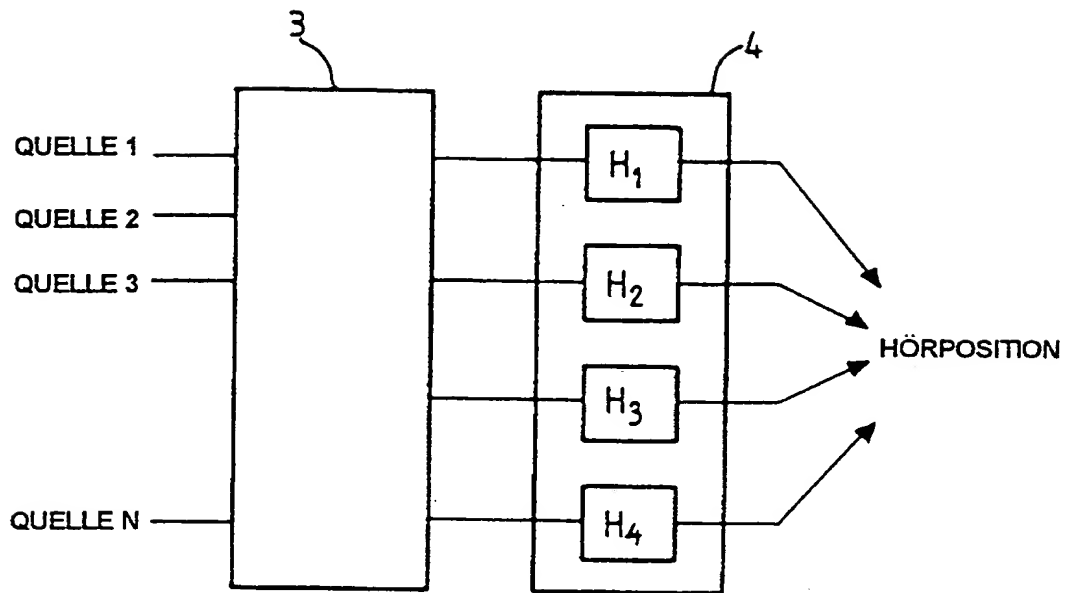
FIG\_9



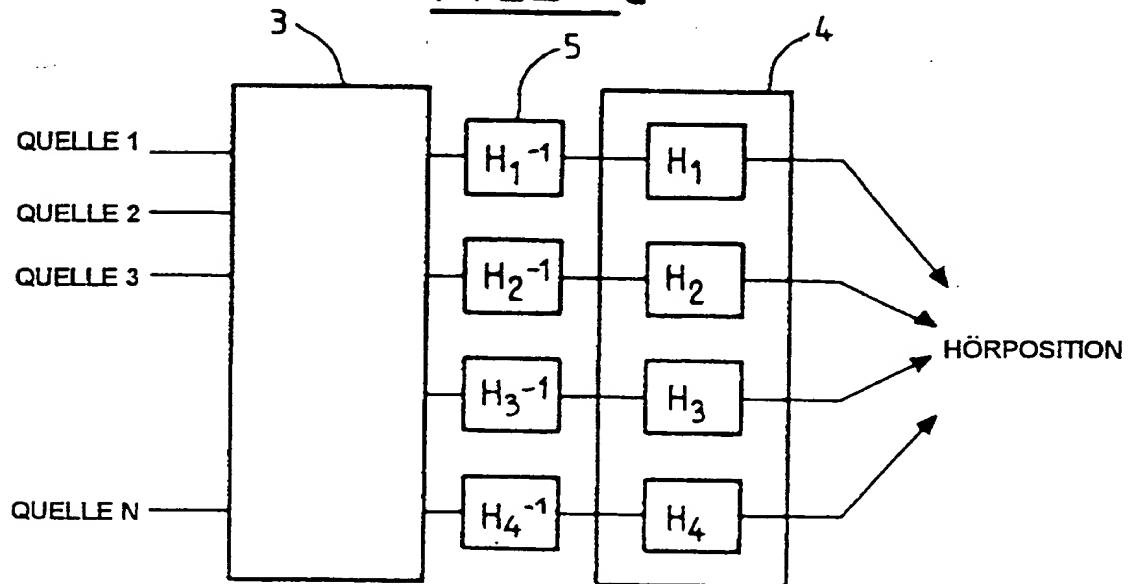
FIG\_11a



FIG\_11b

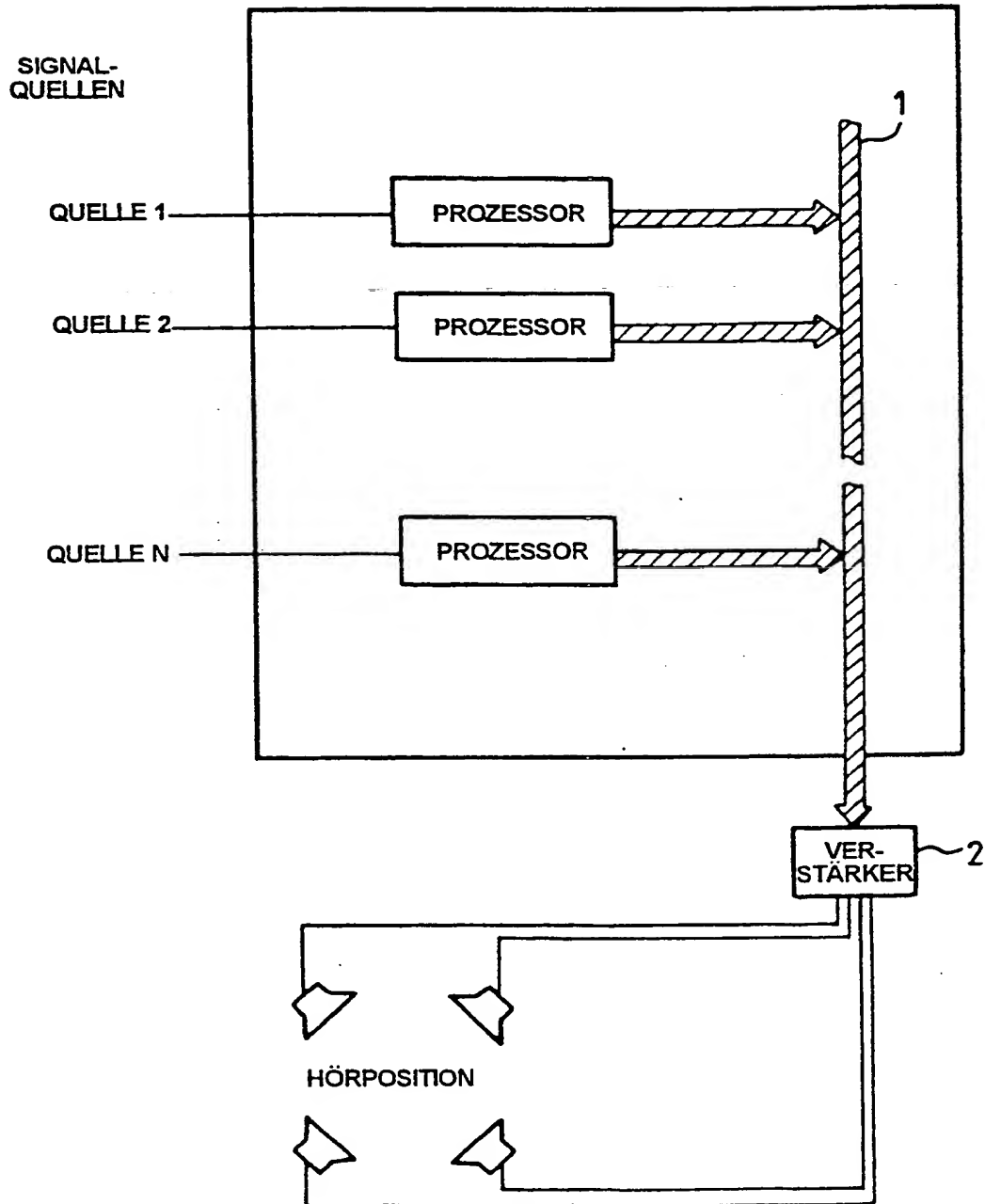


FIG\_11c





FIG\_11d



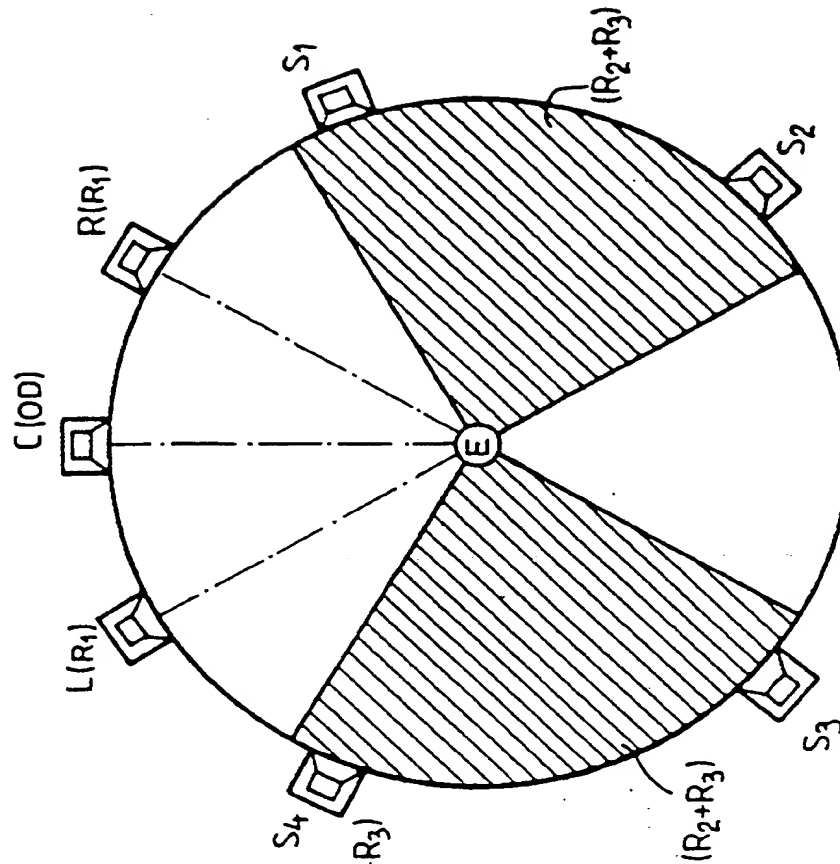


FIG. 11f

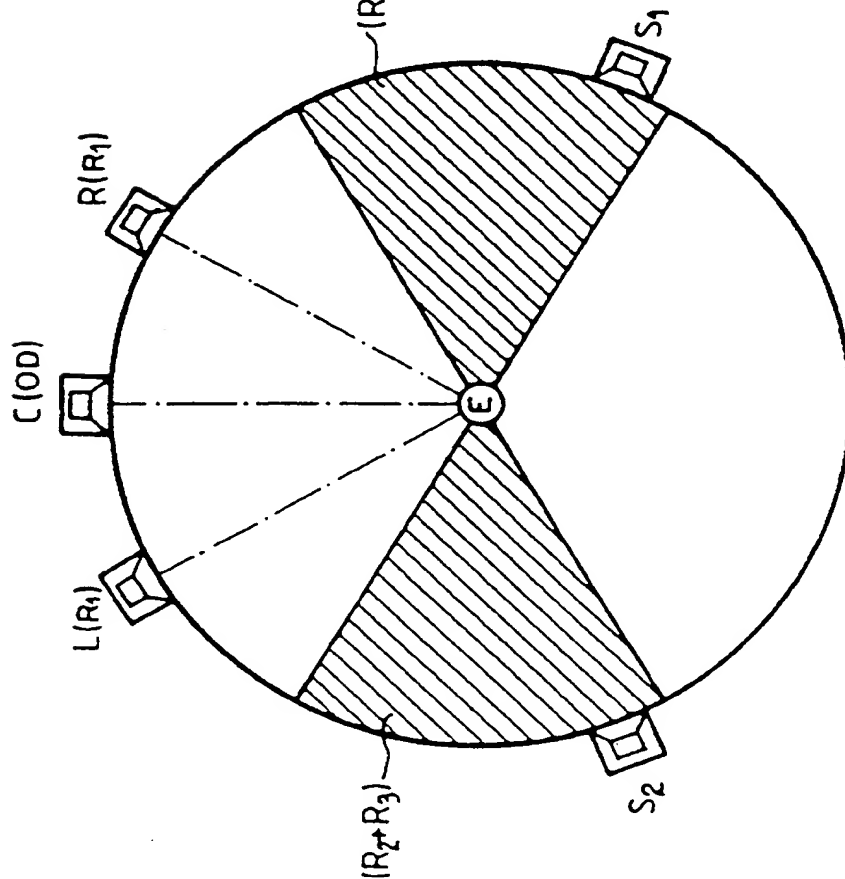


FIG. 11e